

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERA MECÁNICA E INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**  
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CON LA**  
**APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA EMPRESA**  
**MECANOMONTAJE.**

**AUTORES:**  
**VERÓNICA MARIELA RAMÍREZ GUANOLUISA**  
**JEFFERSON SANTIAGO SIMBAÑA QUISHPE**

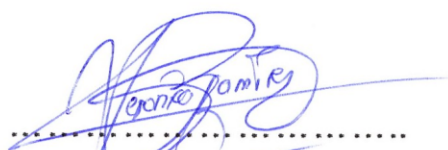
**TUTOR:**  
**MARCOS ANTONIO HECHAVARRÍA SÁNCHEZ**

**Quito, septiembre del 2019**

### **Cesión de derechos de autor**

Nosotros, Verónica Mariela Ramírez Guanoluisa, con documento de identificación N°1715364277, y Jefferson Santiago Simbaña Quishpe, con documento de identificación N°1726189994, respectivamente manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CON LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA EMPRESA MECANOMONTAJE.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera e Ingeniero Mecánicos en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



VERÓNICA MARIELA  
RAMÍREZ GUANOLUISA  
C.I.: 1715364277



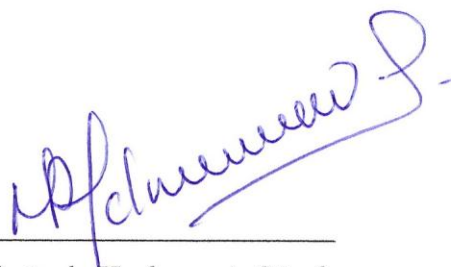
JEFFERSON SANTIAGO  
SIMBAÑA QUISHPE  
C.I.: 1726189994

Quito, septiembre del 2019

### **Declaratoria de coautoría del docente tutor**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CON LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA EMPRESA MECANOMONTAJE.”, realizado por Verónica Mariela Ramírez Guanoluisa y Jefferson Santiago Simbaña Quishpe, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2019.



---

Marcos Antonio Hechavarría Sánchez

C.I 1756684369

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, porque sé que siempre está a mi lado junto a mis amados ángeles que en su momento estuvieron conmigo y con quienes compartí las mejores etapas de mi vida.

A mis padres Luz Guanoluisa y Humberto Ramírez, mis dos grandes amores Carlos y Amy García, por su amor y su compañía son lo mejor que me ha dado la vida. La fortaleza que me dan para cumplir mis sueños y objetivos.

Verónica Mariela Ramírez Guanoluisa

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Nicolás Simbaña y Elena Quishpe por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, gracias por haberme dado pescado y enseñarme a pescar.

A mis hermanos Diego y Christian por ser un ejemplo, por la motivación y consejos que nos han mantenido fuertes y unidos a pesar de las adversidades.

A mi gran amigo y hermano Cristian Nipas, con quien compartí muchos momentos inolvidables en la universidad y supo estar conmigo en las buenas y malas aprendiendo juntos en la universidad y la vida.

A toda la demás familia que moralmente supieron manifestar su apoyo de alguna forma.

Jefferson Santiago Simbaña Quishpe

## **Agradecimiento**

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana y Docentes por el conocimiento técnico y las experiencias adquiridas en el transcurso del tiempo hasta llegar a nuestro objetivo,

A nuestro tutor el Ingeniero Marcos A. Hechavarría Sánchez por su valioso asesoramiento en la realización del proyecto de titulación.

A nuestras familias y demás personas que estuvieron a nuestro lado apoyando para la realización de este trabajo y que representa un logro para nosotros.

Verónica Mariela Ramírez Guanoluisa  
Jefferson Santiago Simbaña Quishpe

## ÍNDICE

Cesión de derechos de autor .....	¡Error! Marcador no definido.
Declaratoria de coautoría del docente tutor.....	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
ÍNDICE .....	v
ABSTRACT .....	xi
ANTECEDENTES .....	1
Planteamiento del problema .....	2
Objetivo General.....	2
Justificación.....	3
Beneficiarios .....	3
Glosario .....	4
CAPITULO 1 .....	5
MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	5
1. Mantenimiento .....	5
1.1. Reseña histórica .....	5
1.2. Gestión de mantenimiento .....	9
1.3. Definiciones y generalidades .....	9
1.4. Tipos de mantenimiento .....	13
CAPITULO 2 .....	18
METODOLOGÍA PARA ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO .....	18
2.1 Método de KANT .....	18
2.1.1. Etapa inicial: Determinación de estado actual y objetivos a determinar ..	18
2.1.2. Etapa de desarrollo de la metodología .....	22
2.1.3. Fase de optimización .....	22
2.2. Departamento de Mantenimiento: recursos y medios disponibles. ....	23
2.2.1. Flujo de trabajo .....	23
2.2.2. Recursos Tecnológicos y capacitación ofimática.....	24
2.2.3. Organización del área de mantenimiento.....	24
2.2.4. RCM, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad .....	24
CAPITULO 3 .....	39
DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	39
3.1 Organización de la Empresa .....	39
3.2 Recursos y medios disponibles en el Departamento de Mantenimiento .....	40
3.3 Flujo de Trabajo .....	40

3.4 Recursos Informáticos; Software y Relación con el Equipo .....	42
3.5 Informe previo de la Gestión de Mantenimiento .....	43
3.6 Organización del Personal .....	44
3.7 Organización del Departamento.....	46
3.8 Plan de mantenimiento inicial.....	47
3.8.1. Proceso para Realización de una Actividad de Mantenimiento.....	47
Mantenimiento Preventivo .....	47
Mantenimiento Correctivo.....	48
3.9. Información previa de Equipos e Instalaciones. ....	49
3.10. Proceso de Asignación de Actividades al Personal.....	54
3.11 Puesta a punto inicial de la Empresa .....	54
3.11.1. Entorno.....	55
3.11.2. Equipamiento .....	55
3.12 Costos de Mantenimiento .....	56
3.13 Ficha de Costos .....	57
3.14 Indicadores de Mantenimiento.....	61
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES .....	69
Bibliografía.....	70
ANEXOS.....	73

## Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de Costes [13].....	36
Tabla 2. Tabla costos. Recursos Humanos.....	58
Tabla 3. Costos Repuestos y Combustibles .....	58
Tabla 4. Materiales e Insumos.....	59
Tabla 5. Costos Transporte y Viáticos .....	59
Tabla 6. Costos Servicios Terceros.....	60
Tabla 7. Costos Totales. ....	60



## Índice de Figuras

Figura 1. Evolución del mantenimiento durante el siglo XX [5].	7
Figura 2. Evolución de la eficacia del mantenimiento [5].	8
Figura 3. Tendencias de gestión de mantenimiento [5].	8
Figura 4. Tabla para grado de Severidad. [12]	28
Figura 5. Tabla para grado de Ocurrencia. [12]	28
Figura 6. Tabla para grado de Detección. [12]	29
Figura 7. Estructura de la Empresa MECANOMONTAJE.	39
Figura 8. Flujo grama y Estructura de Mantenimiento MECANOMONTAJE.	41
Figura 9. Tabla de Software basado en criterios.	43
Figura 10. Gráfico estadístico de Software basado en criterios. [7]	45
Figura 11. . Perfil de cargo requerido para el manejo del área comercial en MECANOMONTAJE. Elaborado. Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña	46
Figura 12. Diagrama de ubicación física Edificio La Recoleta.	49
Figura 13. Esquema de funcionamiento del Sistema Calentamiento Agua.	50
Figura 14. Ficha técnica Bomba de Calor # 5. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.	51
Figura 15. AMEF Bomba de Calor. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.	52
Figura 16. Plan de Mantenimiento Bomba de Calor. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.	53
Figura 17. Cronograma Anual para Mantenimiento Preventivo de Equipo e Instalaciones.	54
Figura 18. Etiquetas de identificación del equipamiento [5].	56
Figura 19. Cuadro comparativo costos periodo Julio-diciembre 2018 y Enero – junio 2019.	57
Figura 20. Indicador de disponibilidad. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.	61
Figura 21. Disponibilidad por Averías. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.	62
Figura 22. Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos.	63
Figura 23. Calculo I Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos.	63

Figura 24. Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación.....	64
Figura 25. Calculo Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación. ....	64
Figura 26. Calculo de Disponibilidad por avería.....	65
Figura 27. Índice de cumplimiento de la planificación.....	65
Figura 28. Tiempo medio de resolución de una O.T. ....	66
Figura 29. Índice De mantenimiento programado y mantenimiento correctivo. ....	67

## **RESUMEN**

El presente proyecto muestra como una microempresa que presta el servicio de mantenimiento de equipos e instalaciones en edificaciones residenciales puede cambiar y mejorar su sistema de servicio implementando un nuevo Plan de mantenimiento y gestionando el mismo a través de software GMAO/GMAC. Para esto se procede a realizar el diagnóstico inicial y el levantamiento de toda la información que se dispone en la empresa respecto a su organización empresarial, recursos, creación de inventario de los equipos y sistemas que maneja la empresa. Se propone un nuevo flujograma con la distribución de los recursos humanos y la definición de los recursos financieros y materiales necesarios para la operación de la empresa, se establece un plan de mantenimiento preventivo por equipos, fichas técnicas, hojas de vida y la información que el técnico especialista requiere para llevar un control óptimo de los equipos y sistemas con sus respectivos formatos.

Se propone un inventario de insumos y stock mínimos con repuestos críticos los cuales ayudarán a que el personal de mantenimiento cuente con los recursos necesarios para la rápida solución de averías, mejorando la calidad y el tiempo de respuesta que constituye el principal pilar que maneja la empresa para su prestigio.

Se establece indicadores y fichas de costos que ayudan a la toma de decisiones y facturación. El personal administrativo podrá observar la fluctuación y desarrollo de la Empresa.

Se propone el uso del software 4TUNA, para el manejo de toda la información de los 60 equipos que conforman la base de datos, los repuestos, clientes y proveedores, el Plan de Mantenimiento y costos.

## **ABSTRACT**

This project shows how a micro-enterprise that provides the maintenance service of equipment and facilities in residential buildings can change and improve its service system by implementing a new Maintenance Plan and managing it through GMAO / GMAC software. For this, the initial diagnosis and the collection of all the information available in the company regarding its business organization, resources, inventory creation of the equipment and systems managed by the company are carried out. A new flowchart is proposed with the distribution of human resources and the definition of the financial and material resources necessary for the operation of the company, a preventive maintenance plan is established by equipment, technical sheets, resumes and the information that the Specialist technician requires to keep an optimal control of the equipment and systems with their respective formats.

An inventory of supplies and minimum stock with critical spare parts is proposed, which will help the maintenance personnel to have the necessary resources for the rapid troubleshooting, improving the quality and response time that constitutes the main pillar that the company manages For your prestige. Indicators and cost sheets are established that help decision making and billing. The administrative staff may observe the fluctuation and development of the Company.

The 4TUNA software was implemented, for the management of all the information of the 60 equipment that make up the database, the spare parts, customers and suppliers, the maintenance plan and costs

## **ANTECEDENTES**

En la ciudad de Quito, capital del Ecuador considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad, en el sector residencial (edificaciones) los sistemas de calentamiento de agua, presión de agua y áreas húmedas no disponen de un plan de mantenimiento especializado ni de personal técnico capacitado por lo que la subcontratación de servicios externos de mantenimiento se hace de manera habitual por parte de la administración de cada edificio.

MECANOMONTAJE es una empresa consolidada que presta servicios de mantenimiento correctivo y preventivo de sistemas de presión de agua, calentamiento de agua y áreas húmedas. Actualmente a MECANOMONTAJE se le ha adjudicado varios contratos de servicios de mantenimiento en instalaciones de edificios dentro de la ciudad de Quito, ciudad en la que se ubica la empresa, la carga de trabajo es proporcional al número de contratos con el crecimiento del mercado, de modo que la necesidad de una nueva planificación de los mantenimientos se hace indispensable, así como el procesamiento de la información que se genera tal como: los recursos utilizados, repuestos, mano de obra, tiempos de trabajo, costo por sesión de mantenimiento, costos mensuales o anuales según la necesidad, etc.

Por esta razón a través de este proyecto de titulación se tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento con la aplicación de un software, que permita gestionar de manera óptima los trabajos de mantenimientos en las distintas instalaciones de los edificios que contratan los servicios de la empresa, así con el fin de mantener una buena rentabilidad de la Empresa mediante el uso de los indicadores técnicos de gestión de mantenimiento que genera el software, y los indicadores económicos, para la toma de decisiones gerenciales logrando una mayor competitividad.

En un principio se hará un diagnóstico de la situación actual del sistema de gestión de mantenimiento y los recursos con los que cuenta la empresa, se establecerá la alternativa de solución basados en las normas ISO 14224 y 55001 .

Una vez definida la nueva planificación del mantenimiento se realizará la implementación de un software especializado en gestión de activos, dando paso a la etapa final en que se elaborarán las fichas de costo de mantenimiento tanto preventivo como correctivo a fin de garantizar un servicio de primera, a un costo competitivo y rentable.

## **Planteamiento del problema**

MECANOMONTAJE es una Empresa establecida desde el 2014, ubicada en las calles Alondras y Lirios, Sector Monteserrin, la empresa brinda servicios de mantenimiento de sistemas de presión de agua, calentamiento de agua y áreas húmedas del sector residencial que ha ido creciendo con el crecimiento y desarrollo de la ciudad. Garantizando el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas que se encuentran bajo su responsabilidad cumpliendo con un plan de mantenimiento preventivo y de ser necesario el mantenimiento correctivo inmediato. Es una necesidad mantener una alta confiabilidad de los equipos e instalaciones para satisfacer las necesidades de los clientes, aumentar la credibilidad en las edificaciones residenciales, así como para el crecimiento productivo de la Empresa.

Al aumentar el número de clientes que cuentan con el servicio externo de mantenimiento por parte de la Empresa MECANOMONTAJE, se hace necesario una mejor planificación para optimizar el servicio, por la probabilidad de un aumento en las averías, al atender una mayor cantidad de activos.

### **Objetivo General**

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento con la aplicación de un software para la empresa MECANOMONTAJE.

### **Objetivos Específicos**

El proyecto tiene como objetivos específicos:

- Identificar el equipamiento de las áreas: Spa, sistema de calentamiento de agua y sistema de presión hidráulica.
- Determinar las condiciones operacionales de los sistemas, realizar el análisis de modo y efecto de falla (AMEF) de los equipos que componen los sistemas.
- Elaborar la planificación del mantenimiento para las áreas antes mencionadas
- Elaborar la ficha de costo del servicio de mantenimiento preventivo

### **Justificación**

Las constantes actualizaciones a nivel mundial con respecto a la tecnología y sofisticación de equipos de sistemas de calentamiento de agua, presión de agua y áreas húmedas residenciales, conllevan a un sistema de gestión de mantenimiento más elaborado a fin de mantener dichos equipos en correcta operación, en disposición según necesidades de la demanda, aumentando a su vez la confiabilidad, por ello la Empresa se ha visto en la necesidad de reestructurar el sistema de mantenimiento, debido al aumento en la demanda de clientes a los que se les presta servicio. Con esta reestructuración se incrementa las capacidades de servicio de mantenimiento de equipos y sistemas teniendo una elevada disponibilidad y confiabilidad, quedando obsoleta la gestión de mantenimiento actual que no responde de manera satisfactoria a los constantes fallos no programados de activos y accesorios además de la falta de stock de repuestos, para los mantenimientos correctivos, amenazando la credibilidad de la Empresa, quedando vulnerable frente a la competencia.

### **Beneficiarios**

Se beneficiará el área de mantenimiento con el desarrollo una nueva planificación que permitirá llevar un control total de los activos, reduciendo así los costos por mantenimientos no programados un stock de repuestos adecuado, en relación a la demanda de las instalaciones.

## **GLOSARIO**

**Mantenimiento:** Combinación de todas las acciones técnicas y de gestión que tienen la intención de retener un ítem o restaurarlo a un estado en que pueda realizar lo requerido [1].

**Taxonomía:** Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems [2].

**Mantenimiento planeado:** Mantenimiento llevado a cabo de acuerdo con un programa de tiempo específico [1].

**CMMs:** Un (Computerized Maintenance Management System) es un sistema que nace para atender la administración del mantenimiento y abarca materiales (generalmente con mucha profundidad) y personal, enfocado a la disponibilidad de recursos y manejo de la información para su análisis, para atender las necesidades de mantenimiento [3].

**Preservar:** Proteger o resguardar a alguien o algo, intentando conservar su estado, de un daño o peligro [1].

**Planificar:** Elaborar o establecer el plan conforme al que se ha de desarrollar algo, especialmente una actividad [1].

**Repuesto crítico:** Se trata de un repuesto de elevada importancia en las líneas productivas, tal que si el elemento indicado falla produce una parada del equipo o maquinaria [1].

**Prioridad o criticidad:** La prioridad o criticidad del activo es usado para determinar la importancia del activo en un proceso productivo. Esta importancia se basa típicamente en una evaluación de las consecuencias que implicaría una falla mayor del equipo teniendo en cuenta además su probabilidad de falla [3].

**OT:** Orden de trabajo, (14)

**GMAO** (Gestión de mantenimiento asistido por Ordenador)

**AMEF:** Análisis de Modo y Efecto de Falla



## **CAPITULO 1**

### **MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL**

Este capítulo permite conocer la fundamentación teórica de la ingeniería del mantenimiento y los principales procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo que se aplican a las labores cotidianas de la empresa.

#### **1. Mantenimiento**

El mantenimiento está definido y hace referencia de las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. [1].

##### **1.1. Reseña histórica**

Durante la revolución industrial, a finales del siglo XVIII y manifestación del XIX, con los primeros conjuntos mecánicos echo máquinas se da comienzo las labores de reparación, así como aparecen varias definiciones y términos como competitividad, precios o costos, fallas o averías, entre muchos otros [2]. Se empezó a tomar en cuenta los paros que se producían en la producción, fundamentalmente las fallas. De manera que se presentó la necesidad de comenzar a tomar en cuenta y de alguna forma controlar estas fallas que para los años 20 aparecen las primeras estadísticas sobre tasas de fallo en motores y en equipos de aviación [2].

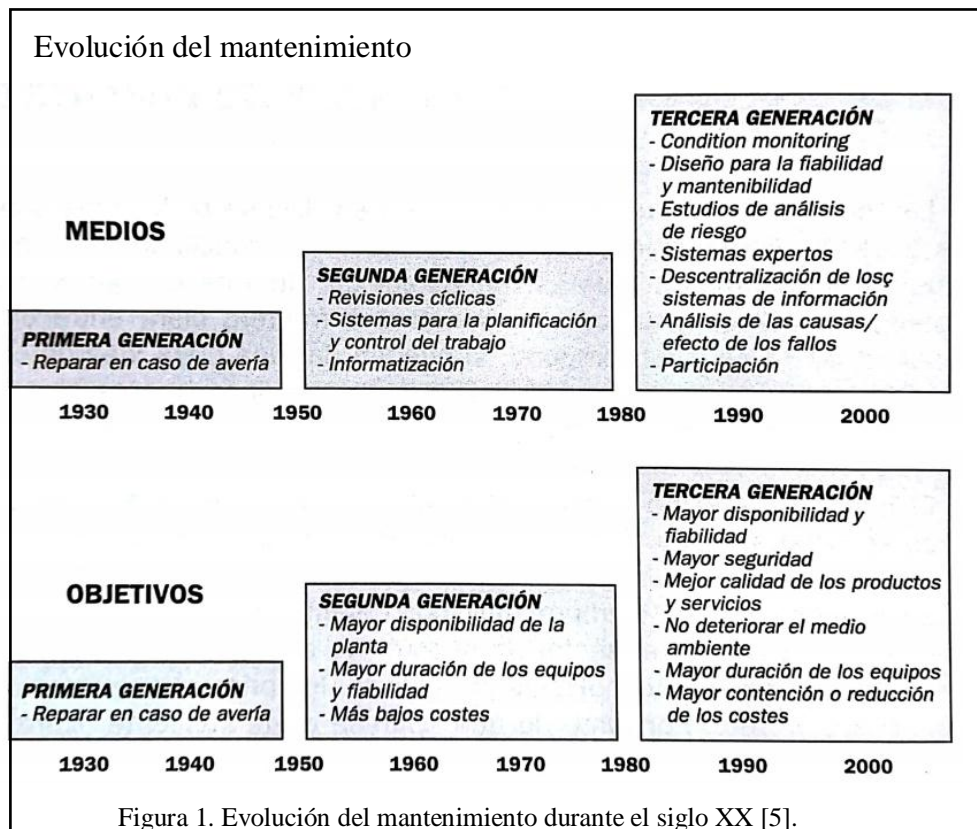
La historia del mantenimiento continuó en conjunto con el progreso técnico e industrial debido a que las máquinas iniciales tuvieron la necesidad de las primeras reparaciones. La gran mayoría de fallas que en ese entonces se presentaban eran resultado de los grandes esfuerzos a los que eran sometidas, así como el abuso de las cargas horarias de trabajo, en ese entonces se realizaba mantenimiento hasta que el equipo no se pueda seguir usando o lo que significa que ya era imposible repararlo para usarlo. Hasta el año de 1914 el mantenimiento no tenía gran importancia, se lo tenía en cuenta en segundo plano y era realizado por personal que desempeñaba operaciones y producción [3].

Con la llegada del primer problema velico mundial mejor conocida como primera guerra mundial y la introducción e implementación de la producción en serie, las empresas e industrias establecieron programas de producción mínimos por lo que se presentó la gran necesidad de agregar un equipo de trabajo que pueda realizar y

efectuar de manera correcta el respectivo cronograma de mantenimiento de las máquinas en toda la línea de producción tan pronto como les sea posible con el objetivo de reducir tiempo o por así decirlo, en el menor tiempo posible. De esta forma nace un grupo alterno que apoya a la operación, que tiene como meta la realización de las actividades de mantenimiento que hoy en día se denomina **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**. Estos hechos tuvieron duración hasta la década de los 50 [2], [3].

En el año de 1950 trabajaron en conjunto un equipo de ingenieros japoneses para crear una nueva definición y desarrollo en mantenimiento, que en la antigüedad trabajaban únicamente cumpliendo con las recomendaciones y sugerencias establecidos por fabricantes de los sistemas y equipos, todo lo relacionado al control y manipulación que debe tener un operador o persona que esté en relación directa con el equipo, sistema o proceso de operación, el mantenimiento de máquinas, instalaciones, parámetros, anexos y sus controles. A todo este nuevo planteamiento e ideología hoy en día se conoce como **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**.

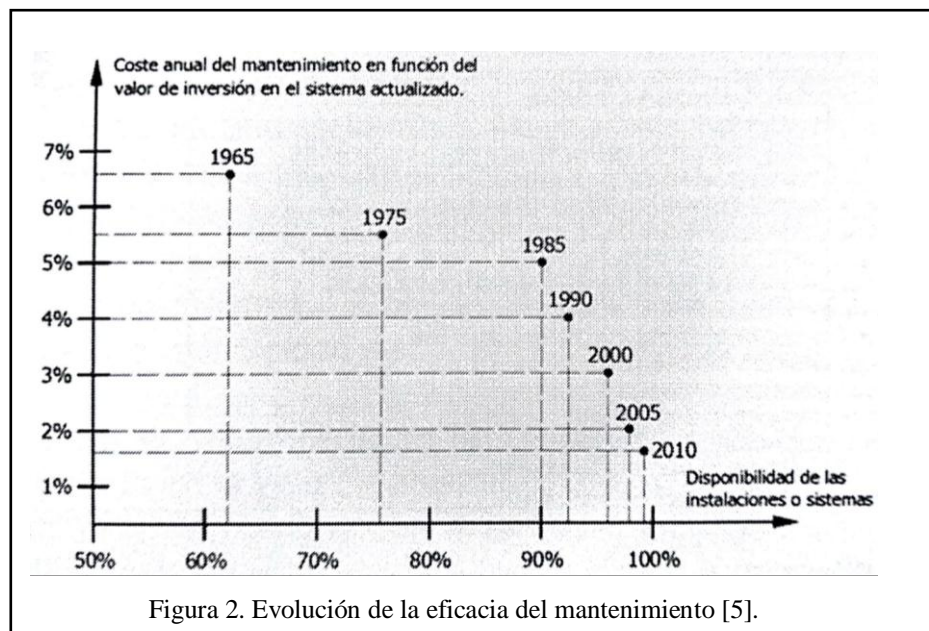
A partir de los años 60, las asociaciones nacionales de mantenimiento inauguradas a final del periodo anterior se fortalecieron, la mejora y sofisticación de instrumentos de protección así como medición gracias a la ingeniería del mantenimiento y el permanente mejoramiento de las industrias electrónica, espacial y aeronáutica, se da paso al mejoramiento de principios de predicción de fallas dando como resultado la mejora y optimización de repuesta por parte del equipo con respecto a la realización de las actividades mantenimiento de modo que la participación por parte del personal de mantenimiento ya no dependía del tiempo que permaneciera un equipo funcionando sino del estado de sus componentes o del equipo en general así como la fiabilidad determinada del sistema [4]. Estos principios fueron denominados y conocidos como **MANTENIMIENTO PREDICTIVO**, mismo que fueron relacionados a métodos de planificación y control de mantenimiento. También existe otra clase de mantenimiento conocido como **MANTENIMIENTO PRODUCTIVO**, esta fue una tendencia que decretaba un punto de vista más profesional en la que se establecían responsabilidades adicionales al personal asociado con las actividades de mantenimiento y se realizaban planteamientos con relación a confiabilidad y diseño del equipo de la fábrica [4].



Se puede apreciar en la Figura 1 el cómo con el pasar del tiempo va mejorando el modo de ver el mantenimiento y las herramientas creadas e implementadas para su control, así como los medios para el éxito del mantenimiento, sin embargo, la necesidad de mejora en la mayoría de los departamentos de mantenimiento se encuentra en un puesto y con una valoración muy por debajo de lo que le corresponde.

Se considera sorprendente que un significativo número de empresas sean aún tan negligentes, al no prestar la respectiva atención al mantenimiento el cual se considera como uno de los elementos esenciales del éxito en una empresa, esto se debe a que algunos directivos con baja formación o experiencia técnica se sorprenden del coste total de mantenimiento en su empresa [5].

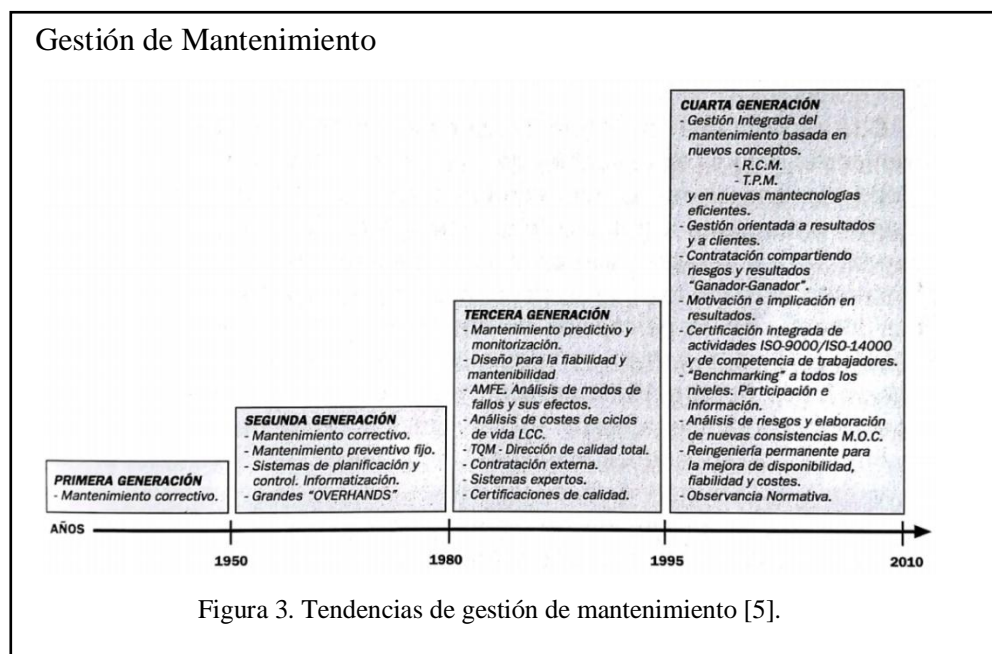
En la Figura 2 se aporta la evolución que representa el costo anual del mantenimiento de acuerdo con la inversión en equipos e instalaciones en función de la disponibilidad (parámetro fundamental de sus resultados) y como ha ido mejorando en los últimos años.



Tardó una década, para tomar lugar a la globalización del mercado creando modelos nuevos y metodologías de mantenimiento logrando así, mejor calidad y excelencia [4].

Estos modelos nuevos fueron: TPM, 5S, KAISEN y RCM [4].

En la Figura 3 se observa la evolución de los requisitos del mantenimiento en el tiempo.



En esta cuarta generación en la cual actualmente se encuentran las industrias a nivel mundial se puede observar como continúa evolucionando la importancia del área de mantenimiento, así como su complejidad y confiabilidad. En esta generación se vincula el mantenimiento con el Sistema de Calidad y Normas Medioambientales.

## **1.2. Gestión de mantenimiento**

Se define como el trabajo de planificación y control que debe realizarse para maximizar la disponibilidad y efectividad de los equipos requeridos por el sistema de producción [1].

La gestión de mantenimiento es esencial para garantizar la continuidad de la actividad operativa, evitando paros en el proceso por averías de máquinas y equipos. Por lo tanto, la existencia de una gestión mantenimiento eficaz constituye uno de los elementos más importantes dentro de una industria u organización [6].

## **1.3. Definiciones y generalidades**

### **1.3.1. Plan de mantenimiento**

Según Santiago Garrido [7], especialista de renovetec. Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas programadas, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos [7]. Hay todo un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva [7].

Un plan de mantenimiento abarca tres tipos de actividades según lo menciona renovetec [8]:

- Actividades de rutina que se realizan día a día, y que normalmente son realizadas por el equipo de operación.
- Actividades que se programan y se realizan durante el año.
- Actividades que se hacen cuando se presentan mientras se realizan las paradas que están programadas.

Todas las actividades de mantenimiento llegan a ser, como se ha mencionado antes, el pilar fundamental en un plan de mantenimiento [8]. Existen varias maneras de hacer una planificación adecuada de mantenimiento, dichas formas se mencionan a

continuación en los próximos capítulos, misma que simplemente son maneras de identificar las actividades que contendrá la planificación [9].

Una vez identificada cada actividad debe reconocerse la información asociada a ciertos aspectos como: frecuencia de mantenimiento, especialidad requerida para ciertas actividades, duración de las actividades, autorización necesaria en actividades que requieren especial atención y posibles pausas para intervenir la máquina para efectuar el mantenimiento [9].

### **Frecuencia de mantenimiento**

Con respecto a la frecuencia de una actividad, hay dos formas para definirla:

- Identificando periodos fijos.
- Identificación partiendo del régimen de trabajo u horas de funcionamiento.

Ambas formas son prácticamente válidas; además es posible que para unas actividades sea ideal que se lo haga en base a periodos ya establecidos y otras actividades incluso pueden estar relacionadas al mismo equipo, que sean relacionadas a horas efectivas de funcionamiento. Las dos maneras de identificación del periodo con la que se debe ejecutar cada tarea que comprende la planificación tiene sus inconvenientes así como sus ventajas [10].

Esto significa que, ejecutar actividades de mantenimiento en base a periodos fijos puede considerarse como hacer mantenimiento a equipos que no se han puesto en funcionamiento, lo que se entendería como que dichos equipos y componentes no han sufrido desgaste en un periodo determinado [10]. Por otro lado, fundamentar el mantenimiento en horas de funcionamiento presenta el problema de que la programación de las tareas se vuelve mucho más complicado, al no estar definido de manera exacta cuándo tendrían que realizarse [10].

Un programa de mantenimiento que disponga de actividades con periodos de tiempo fijos, en complemento con otras fundamentadas en horas de funcionamiento presentan dificultad para ser gestionadas por lo que se hace necesario siempre buscar soluciones de compromiso. A continuación, se presentan un par de estas soluciones [9].

Se entiende que no es tan sencillo fijar principios para determinar las actividades de mantenimiento. En teoría, una actividad de mantenimiento debe ser ejecutada con la

finalidad evitar un fallo, con lo que se tendría que identificar de forma estadística, el tiempo que pasa de media hasta el momento en que se presenta una falla si de alguna forma no se interviene el equipo [6]. Se presentan problemas al momento de realizar un estudio debido a que no se dispone de datos estadísticos para realizar el mismo, de modo que en varios casos esto supondría incidir de mala manera en los equipos, incluso hasta la rotura, con el fin de identificar cuanto podrían resistir; en otros casos, hacer complicadas simulaciones relacionadas al comportamiento de materiales, que por lo general presentan altos costos de inversión que en la mayoría de los casos económicamente no son factibles para el departamento de mantenimiento de una empresa [10]. De modo que es de suma importancia el indagar principios globales que permitan fijar estos periodos, con el fin anteponer: costos, fiabilidad y disponibilidad al momento de tomar una decisión, y no reducir significativamente la vida útil de: partes, conjuntos o mecanismos [8].

### **Especialidades Profesionales**

Para realizar el plan de mantenimiento se considera conveniente identificar y tener claro cuáles son las actividades que llevan a cabo ciertos profesionales u otros, de modo que al momento de generar una orden de trabajo no se le asigne al especialista eléctrico el trabajo que debería hacer el especialista mecánico y viceversa [9], [11].

En las actividades que conforman un plan de mantenimiento las especialidades que suelen ser comunes hoy en día son las siguientes:

- Operación: Tareas que son realizadas por el mismo grupo de trabajo que se encargan de la operación de instalación, y por lo general se tienen inspecciones que se hacen de manera frecuente como: lecturas de datos y en ciertos casos actividades con respecto a lubricación y limpieza [8], [11].
- Aplicación solar: Las tareas son realizadas por especialistas en la rama de captación de radiación en zonas ideales que comúnmente incluyen actividades: eléctricas, mecánicas y de instrumentación [11].
- Aplicaciones Mecánicas: Las actividades mecánicas tienen la necesidad de personal especializado tanto en montaje como desmontaje de equipos, que tenga la facilidad de realizar actividades de ajuste, alineación, comprensión y lectura de planos [8], [11].

- Trabajos Eléctricos: Este tipo de trabajos requiere que los profesionales que los realizan dispongan de una buena formación técnica en el área eléctrica, ya sea: baja, media o alta tensión [7], [11].
- Trabajos especiales de instrumentación: Este tipo de trabajos tienen la necesidad de profesionales que dispongan de formación electrónica, adicional de capacitación especial en verificación y calibración de instrumentos de medida que por lo general son impartidas por parte de las mismas casas comerciales que se dedican a la ventas de instrumentación [8], [11].
- Tareas de mantenimiento Predictivo: Esta especialización abarca gran cantidad de actividades de vanguardia que analizan variables para determinar el estado de equipos, entre ellas se tienen inspecciones: termográficas, boroscópicas, análisis de vibraciones, ultrasonido, análisis de lubricantes, entre otros. Los profesionales que las realizan suelen ser técnicos entrenados de manera especial en técnicas y herramientas necesarias para ser desarrollarlas [7], [9], [11].
- Mantenimiento con normativa legal: En varios casos para llevar a cabo ciertas actividades se requiere de carácter obligatorio debido a normativas en vigencia que hacen necesario disponer de ciertas acreditaciones por lo que se suele contratar empresas externas que dispongan de las respectivas acreditaciones para realizar estos mantenimientos [9].
- Higiene técnica: La alta exigencia que requiere este tipo de trabajos que de la mano con las herramientas que se utilizan están basados en conocimientos muy específicos que por lo general generan la necesidad de contratar empresas externas especializadas que cuentan con las respectivas certificaciones [11].
- Obras de tipo civil: No son actividades comunes que sean realizadas por parte del personal de planilla, por lo que resulta de fácil ejecución, programación y control cuando se realiza la adecuada subcontratación, de modo que resulta conveniente así como agregar una categoría especial para estas actividades [4].



### **1.3.2. Duración**

Los tiempos estimados de duración de actividades resulta ser un dato complementario de la planificación del mantenimiento, por lo general se lo considera de manera aproximada y se debe tomar en cuenta que este tipo de estimación deber ser considerada con cierto grado de error ya sea por exceso o por defecto [12].

### **1.3.3. Permiso de trabajo**

Ciertas actividades necesitan de cierta autorización especial para ser realizadas. Entre las cuales se tiene; actividades de corte y soldadura, entrada en espacios confinados, riesgo eléctrico, etc. Exigen por lo general de permiso de trabajo especial, resulta de mucha utilidad adicionar en el plan de mantenimiento este tipo de información de forma que estén identificados y diferenciados los trabajos que necesitan un permiso y los que se realizan con una simple orden de trabajo [11].

### **1.3.4. Máquina apagada o encendida (trabajando)**

Al realizar actividades de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo del equipo, se debe considerar si el sistema al que pertenece o incluso toda la planta tengan que encontrarse parada o en marcha durante la realización del mismo. Éste antecedente es de vital importancia para la planificación del mantenimiento y debe estar incluido en la documentación que maneja el personal [8].

### **1.3.5. Gestión de mantenimiento**

La gestión del mantenimiento consta de todas las tareas de la gestión que determina objetivos del mantenimiento, las estrategias y responsabilidades, y se realizan por medio de planificación, control y supervisión del mantenimiento y mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos [7], [11].

## **1.4. Tipos de mantenimiento**

Comúnmente, se distinguen en general 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

### **1.4.1. Mantenimiento Correctivo**

Es el conjunto de tareas con la finalidad a corregir los errores o defectos que van apareciendo en los distintos equipos, y que son comunicados al área de mantenimiento por los usuarios de los mismos [7], [8].

#### **1.4.2. Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo tiene por misión permanecer en un nivel de servicio determinado en las maquinas o equipos, programando las actividades de sus puntos más vulnerables en el momento que se considera como más oportuno. Por lo general son de carácter sistemático, lo que significa que se realiza, aun si el equipo no ha presentado ningún síntoma de tener un problema [8].

#### **1.4.3. Mantenimiento Predictivo**

Tiene como objetivo conocer e informar constante y de forma permanente el estado y operatividad de instalaciones mediante el monitoreo de valores de ciertas variables representativas. Para aplicar este tipo mantenimiento, es necesario determinar variables físicas como (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) variación la cual sea indicativa de problemas que se pueden estar iniciando en el equipo. Este el tipo más sofisticado de mantenimiento, más tecnológico, por lo que exige de medios técnicos avanzados y que, en varias ocasiones sea necesarios de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos, así como económicos [7], [9], [11].

#### **1.4.4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):**

Conjunto de actividades con el objetivo de revisar los equipos a intervalos programados mucho antes de que inicie algún fallo. Cuando la fiabilidad de un equipo ha disminuido de forma tan considerable que resulta arriesgado hacer predicciones sobre su capacidad productiva. Esta revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, lo que significa que se realizan: cambios de partes esenciales o reparación de las mismas, lubricación, reajustes dejando al equipo como si fuera nuevo con lo el fin de asegurar con gran probabilidad un cierto tiempo de correcto funcionamiento fijo [8], [11].

#### **1.4.5. Mantenimiento En Uso o TPM**

Trata sobre el mantenimiento fundamental de un equipo que es realizado por los operadores del mismo. Trata sobre una serie de tareas simples como (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reajuste de tuercas), otra forma en que se le conoce también es “mantenimiento autónomo”, para la cual no se necesita de formación en cantidad o compleja, de modo que con una explicación breve es suficiente. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM, sus siglas hacen referencia a “Total Productive Maintenance” que en español significa,

Mantenimiento Productivo Total, este tipo de actividades resulta de gran ayuda en una gran industria cuando se la aplica de manera correcta como lo menciona Santiago Garrido sus trabajos [7], [9], [11].

Aunque de manera general se consideran 5 tipos de mantenimiento, se tiene varias subdivisiones considerables para realizar la planificación de los mantenimientos que a nivel de operación son importantes.

Mantenimiento conductivo u operativo: Es el conjunto de actividades que son realizadas por el mismo personal de operación [8].

Mantenimiento mecánico: Conjunto de actividades que son realizadas por especialistas en intervención de mecanismos y equipos mecánicos [5], [8].

Mantenimiento eléctrico: conjunto de actividades realizadas por especialistas fuertemente preparados en sistemas y riegos eléctricos [4].

Mantenimiento de la instrumentación: Actividades de calibración y reparación de equipos de medición que son realizados por especialistas en instrumentación [7].

Mantenimiento de control: actividades de tipo electrónico que son realizadas por especialistas en automatización y control [7].

Limpiezas técnicas: actividades que son realizadas por personal técnico especializado en la limpieza de ciertas partes de la instalación que exigen la utilización de determinados productos y procedimientos complejos [6].

Acorde con la importancia y alcance de las actividades el mantenimiento puede dividirse en los siguientes tipos generales:

- Mantenimiento rutinario: es el conjunto de actividades que son realizadas comúnmente por el mismo personal de producción [2].
- Revisiones mayores: se denominan mayores a las actividades que implican el reemplazo de un gran número de partes de desgaste o la inspección de ciertas partes internas que demandan grandes desmontajes [8], [10].
- Forma 1: Tomando en cuenta las recomendaciones por parte de los fabricantes de los equipos que dispone la fábrica, y uniéndolas en variedad de mantenimientos. Esta resulta una forma realmente extensa de preparar una planificación de mantenimiento, sin embargo no se puede asegurar que al realizarlo de esta forma no se vaya a tener problemas en los equipos ya que

como todo, esta forma de realizar una planificación de mantenimiento tiene ventajas e inconvenientes [10].

- Forma 2: Haciendo una planificación de mantenimiento fundamentado en protocolos, que tiene como finalidad agrupar los equipos, pudiendo agrupar por tipos y a cada tipo asignar una serie de actividades independientemente de la marca o el fabricante [10].
- Forma 3: Desarrollando una planificación en base a un respectivo análisis de fallas que se tratan de evitar. De modo que no hay duda de que sería la forma adecuada, más completa y eficaz de elaborar una correcta planificación de mantenimiento.
- Formas 1 y 2: Resultan fácilmente abordables por parte del grupo de trabajo de la empresa con la experiencia y los conocimientos adquiridos en base al tiempo, sin embargo, el modo 3 exige el estudio a detalle de todas las fallas que se puedan suscitar en la empresa estudiada. La correcta identificación de medidas preventivas a realizarse, exige de mucho tiempo y en especial de conocimientos puntuales especializados [10].

Por lo que se considera realizar un buen trabajo debe plantearse el desarrollo de la planificación de mantenimiento en dos fases:

- Fase inicial o fase 1: Realizar una planificación inicial, fundamentado en las recomendaciones de fabricantes se considera la forma más elemental de hacer una planificación o en indicaciones generales según el equipo, que por lo general son complementados por la experiencia adquirida por parte del personal técnico que constantemente trabaja en la empresa, y las exigencias legales de mantenimiento que disponen algunas empresas. Esta planificación puede desarrollarse de forma rápida. Se debe recordar que siempre resulta mejor una planificación de mantenimiento en desarrollo e incompleta que se realiza realmente y constantemente mejora a que una planificación de mantenimiento que no existe más que en registros [10].
- Fase 2: Cuando ya se ha realizado esta planificación inicial y con la misma ya en marcha (lo que significa que el personal técnico y el resto del grupo de trabajo se ha familiarizado con la nueva ideología de que los equipos se tienen que revisar de manera periódica), desarrollar una planificación más elaborada fundamentada en el respectivo análisis de fallas de cada sistema de

los que se encuentra conformada la empresa [9]. Lo que permitirá este análisis será diseñar la planificación de mantenimiento y adicional permitirá sugerir mejoras que logren evitar fallas, inventar procedimientos de adecuado mantenimiento o de operación además de seleccionar el repuesto que sea necesario [8].

## **CAPITULO 2**

### **METODOLOGÍA PARA ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO**

El capítulo 2 describe la metodología a seguir para la elaboración e implementación de la Planificación de Mantenimiento, los requerimientos que se deben de cumplir de acuerdo a normas y estrategias para optimizar los recursos y disponibilidades por parte de quien conforma la empresa MECANOMONTAJE, así como mejoras en la calidad del servicio que se brinda a los clientes actuales y clientes potenciales a futuro.

#### **2.1 Método de KANT**

El trabajo se fundamenta en el denominado método de Kant según [10], [12]. Este punto de vista propone la opción de indagar y comprender cualquier fenómeno, ya que se puede decir que cualquier sistema está conformado por 3 cosas: productores (personas), máquinas (equipos) y fábrica (ambiente o entorno) [13].

Esta metodología se divide en etapas, 4 que son detalladas a continuación:

- Etapa inicial
- Etapa de formación
- Etapa de desarrollo
- Etapa de optimización

##### **2.1.1. Etapa inicial: Determinación de estado actual y objetivos a determinar**

Análisis de situación actual y objetivos propuestos a definir. Se tiene como objetivo de esta primera fase conocer la empresa, el producto y el proceso productivo para calificar su estado inicial de modo que, si se necesita definir cambios necesarios en el departamento de mantenimiento con el fin de obtener de alguna forma un resultado total mejorado que pueda ser evidenciado. Esta etapa es considerada como la más corta con respecto al tiempo, misma que no debería de superar 2 meses ya que se tendría el riesgo enfocarse tanto al proceso terminando por descuidar las tareas que son elementales del área de mantenimiento. En conclusión, en esta etapa se pretende identificar lo que se necesita cambiar para mejorar y determinar cuáles son los objetivos que se pretende alcanzar [12], [14].

Los puntos siguientes se encuentran documentados para su respectivo estudio y análisis, como se encuentra detallado posteriormente.

#### **2.1.1.1. Organización de la Empresa:**

Una de las primeras cosas que se debe hacer es un nuevo organigrama de cómo debe trabajar la empresa, la forma de organización con la que ha estado funcionando y las particularidades que se puedan presentar como: disposición de máquinas o equipos, dependencia de mantenimiento, etc.) [12].

#### **2.1.1.2. Detalle de proceso:**

Para la correcta realización de las actividades de mantenimiento, el conocimiento a fondo del proceso permite comprender cuáles son las prioridades y las necesidades que se tiene. Es de suma importancia conocer y entender cómo se gestiona en la actualidad los distintos inconvenientes que se presentan en producción y servicio para poder determinar cuáles son los trabajos reales que se deben realizar por parte del departamento de mantenimiento [12].

#### **2.1.1.3. Recursos y medios disponibles**

- Presupuesto que se pretende destinar para el año y su respectiva distribución mensual.
- Gestión de almacén destinado para mantenimiento
- Recursos humanos
- Medios disponibles como: herramientas, instrumentos, materiales entre otros que son utilizados para realizar las funciones de mantenimiento.
- Subcontratación: ¿Qué es lo que se debería subcontratar y se considera rentable?
- Flujo de trabajo: Entender la forma en que se realiza una solicitud y cómo se debe de tramitar la denominada OT (Orden de Trabajo) [12].

#### **2.1.1.4. Recursos informáticos:**

Computadoras, plataformas GMAC (CMMS), mejor conocidos como: Gestión de mantenimiento asistido por computador/ordenador, infraestructura informática que se dispone en para las actividades de la empresa en general, además se debe considerar la respectiva capacitación del personal de trabajo en el área de ofimática para un adecuado desempeño de sus actividades [15].

#### **2.1.1.5. Desarrollo del informe previo:**

Determinar el estado de la situación actual en la que se encuentra la empresa y los objetivos planteados para mejorar y llegar hacia una meta en común [16], [17].

#### **2.1.2 Fase de formación: Plan de acción**

El objetivo fundamental y que resulta sumamente complicado en esta fase es dar inicio al cambio de la mentalidad misma que resulta un proceso al momento dar gestión a las actividades de mantenimiento con acciones que tengan un rápido efecto a corto y mediano plazo. La duración de esta fase no debería sobrepasar las 24 semanas o meses ya que se debe aprovechar el entusiasmo y buena predisposición de la gente ante un proyecto nuevo, una vez que el proceso se pone en marcha y se tarda demasiado el personal le perderá interés [17].

##### **2.1.2.1. Organización del personal:**

- Se debe crear un nuevo organigrama para el correcto funcionamiento del departamento de mantenimiento tomando en cuenta que las personas encargadas de las distintas áreas, así como bodega deben reportar y estar a las órdenes del responsable asignado para el área de mantenimiento. En una segunda fase se debe considerar las posibles desvinculaciones o las posibles nuevas contrataciones que se consideren pertinentes [17].
- Otra fase importante es determinar el área física en la cual se desempeñarán las actividades departamento de Mantenimiento que se considera que debería contar con al menos una oficina asignada para la persona responsable del departamento y de igual forma para sus colaboradores teniendo en cuenta que para una buena gestión y capacitación es necesario disponer de materiales como: mesa de reuniones, pizarra, marcadores, artículos de oficina en general, etc. [17].
- Determinación y diseño de plantillas para orden de trabajo que permitan realizar las tareas de mantenimiento de forma ordenada [14].
- Determinación y diseño de perfiles de cargo de todos los colaboradores, con el fin de tener el respectivo acceso al software, cada uno con su nivel de acceso correspondiente [17].



#### **2.1.2.2. Organización del departamento:**

En esta parte se pondrá en consideración la manera en la que se coordinan: tareas, debates y reuniones. Se considera recomendable estudiar los resultados que se obtuvieron a través de las actividades realizadas anteriores a través de las OT (ordenes de trabajo). Se considera de suma importancia el definir una codificación única para equipos o en este caso en base a nuestro software por objetos, actividades de mantenimiento por hacer, entre otros [17].

#### **2.1.2.3. Organización de bodega destinada al área de mantenimiento**

- Es de suma importancia la creación de una bodega para el área de mantenimiento o sección derivada exclusiva de insumos que sea parte del almacén general, teniendo muy bien identificada la persona responsable del área de mantenimiento. En caso de ya disponer de espacio físico se debe identificar todas las mejoras posibles y realizarlas [12].
- Se tiene que realizar un inventario de los repuestos en stock y la organización de los mismos, en lo posible definir una ubicación y codificación [12].
- Enlistar los materiales necesarios para una eficaz realización de las actividades: combustibles, instrumentación, elementos de desgaste, consumibles, entre otros [12].
- Identificar el listado de materiales e insumos de mínimo stock necesario para realizar las actividades de mantenimiento en no menos de un año [12].

#### **2.1.2.4. Planificación inicial del Mantenimiento:**

Iniciar una Planificación de Mantenimiento General. Planificación de mantenimiento preventivo general de las instalaciones, equipos y medios que se consideran productivos [13] .

Puesta marcha inicial o comúnmente denominado arranque inicial, que va orientado a las instalaciones generales [18].

- Análisis de los requerimientos más urgentes, por ejemplo: agua, aire, energía, etc [17].
- Apertura de algún tipo de sistema de control para instalaciones en general, que deberá ser realizado por parte del personal de mantenimiento con frecuencia diaria (parámetros a controlar: gas, agua, energía, etc.) [17], [18].

- Es recomendable realizar al mismo tiempo que se desarrollan estas actividades, dar inicio al estudio de los equipos (criticidad de los mismos) [18].

### **2.1.2. Etapa de desarrollo de la metodología**

En cuanto se ha creado una sólida base en la anterior etapa, se tiene como objetivo en esta tercera tapa, finiquitar todas las tareas o acciones que se han quedado pendientes y empezar a desarrollar nuevas actividades a mediano y largo plazo [12], [19]. Entre las principales actividades que se deben hacer son:

- Realizar estudio de mercado: Se debe hacer una investigación previa de los potenciales softwares disponibles en la industria, comparar: funciones principales, costos, facilidad de implementación, soporte técnico, etc. [20].
- Determinación de software GMAC/GMAO a utilizar: Se debe hacer una elección adecuada del programa y/o herramientas de software que sean adecuadas, se debe considerar la facilidad con la que se puede implementar el software y a futuro no muy distante si se tiene facilidad de uso para el grupo de trabajo del área de mantenimiento, ya que por lo general el personal técnico no está familiarizado con el trabajo mediante programas de gestión [21].
- Identificación del plan de mantenimiento definitivo: Definir un plan general de mantenimiento con el uso del software [17], [20].
- Personal: establecer el proceso a seguir con el personal de nuevo ingreso, analizar la conveniencia de cursos de capacitación y superación para el personal ya en plaza, además se considera importante establecer cierta metodología de estimulación para los colaboradores más destacados [17], [21].

### **2.1.3. Fase de optimización**

El objetivo es comenzar a realizar un estudio de resultados que se han obtenido en la etapa anterior, se debe crear y dar un adecuado seguimiento a indicadores tanto técnicos como económicos, además se debe determinar las mejoras económicas que se tiene a futuro, ya sean técnicas u organizativas mismas que se pueden considerar a mediano y largo plazo. Para resumir, lo que se deben establecer son las siguientes actividades a ejecutar [12], [13]:

- Creación y adecuado seguimiento de indicadores tanto técnicos como económicos de mantenimiento.
- Realizar reportes o también denominados informes técnicos.

## **2.2. Departamento de Mantenimiento: recursos y medios disponibles.**

Se cuenta con presupuesto operativo, mismo que fluctúa año tras año en función de los intereses que tenga la empresa. Cuando ya se ha dado a conocer el monto asignado se debe elaborar un cronograma de compra de repuestos y servicios externos. La evaluación y renovación tecnológica se lo realiza de manera independiente [17].

Existe un área para el almacenamiento controlado por un supervisor. El departamento está conformado por técnicos especializados: instrumentación básica, electricidad de baja y mediana potencia, mecánica industrial, Aire acondicionado (climatización) y operadores de calderos [16]. Estas personas encargadas de ejecutar OTs que corresponden a trabajos planificados además de ejecutar las respectivas acciones correctivas en caso de algún desperfecto [16].

Con el fin de dar por cumplido los principios básicos de mantenimiento, cada persona debe contar con caja de herramientas básicas, así como principales instrumentos que se consideren necesarios para realizar las respectivas actividades. Las actividades que ameriten mayor conocimiento técnico de suma importancia como por ejemplo instalación de tecnologías actual de vanguardia o procesos que no sea del conocimiento en la rama estudiada serán contratados a terceros [17].

### **2.2.1. Flujo de trabajo**

Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples [22]. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución, es decir, viene a ser la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo. Luego, es una representación gráfica que desglosa un proceso en cualquier tipo de actividad a desarrollarse tanto en empresas industriales o de servicios y en sus departamentos, secciones u áreas de la estructura organizativa. Son de gran importancia ya que ayudan a representar gráficamente un procedimiento o parte de este. En la actualidad los diagramas de flujo son considerados en la mayoría de las empresas como uno de los principales instrumentos en la realización de cualquier método o sistema [16].

### **2.2.2. Recursos Tecnológicos y capacitación ofimática.**

Con el fin de gestionar de forma organizada las actividades mantenimiento es común el uso de como complemento técnico e informático de un ordenador (computador) de escritorio o portátil, con sus complementos, una impresora y celular sincronizados entre sí, con conexión a internet. La Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador o Computadora, es una herramienta informática que ayuda en la correcta gestión de los servicios de mantenimiento de una empresa. simplemente es requisito, una base de datos que contiene información sobre la empresa y sus actividades de mantenimiento. La información se utiliza para controlar que todas las actividades de mantenimiento, las planificaciones se lleven a cabo de manera más segura y eficaz, ayudando así a tener más claro el panorama al momento de tomar decisiones [17].

Un software de mantenimiento ofrece una gran variedad de funcionalidades, teniendo en el mercado variedades de costos, de forma integrada o por módulos [16].

### **2.2.3. Organización del área de mantenimiento**

Esta etapa trata sobre la forma en que se coordinan las tareas, reuniones y debates. Se analiza nuevamente los resultados obtenidos de actividades anteriores por medio de las OT. Se determina un sistema de codificación único, acciones de mantenimiento a realizar, entre otros [19].

### **2.2.4. RCM, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad**

RCM sus siglas en ingles que hacen referencia (Reliability centred maintenance). No es más que un tipo de mantenimiento entre muchos otros posibles para elaborar una planificación de mantenimiento adecuada en una empresa o instalación industrial misma que presenta ciertas ventajas importantes. En un inicio se desarrolló en la aviación donde no se obtenían buenos resultados con respecto a la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue desarrollada en el campo militar y mucho después en el sector industrial, al obtener resultados excelentes en el campo aeronáutico [12].

RCM resulta una técnica con la cual se puede elaborar una planificación de mantenimiento. Sin embargo, la planificación de mantenimiento es resultado del estudio a fondo que se debe efectuar en la empresa. Adicional a la planificación de mantenimiento, se obtienen varias conclusiones como:

- Modificaciones necesarias en el sistema o equipo, con la premisa de que un buen mantenimiento no soluciona un mal diseño.
- Varios procedimientos tanto de operación como de mantenimiento mismos evitan el producir fallas estudiadas.
- Medidas a tomar en caso de falla, con las cuales se minimicen las consecuencias.
- Listado de repuestos necesarios s tener en stock en la empresa, no con el fin de evitar la falla, sino para reducir al máximo el tiempo de parada y por tanto dar una respuesta rápida y minimizar las consecuencias.

El fin de implementar un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una empresa industrial es aumentar la fiabilidad de la empresa, en otras palabras, disminuir el tiempo de paradas de la empresa por daños imprevistos que no permitan cumplir con los planes de producción establecidos. Se tiene como objetivos secundarios pero no menos importantes el aumentar la disponibilidad que no es más que la proporción del tiempo que la empresa se encuentra en disposición de producir y disminuir los costos de mantenimiento [7].

### **Fallas y Modos de Falla**

Se considera una falla a la incapacidad de un equipo o sistema para realizar alguna de las funciones para la que fue diseñada [8]. Por lo que, si se realiza correctamente la anterior etapa, determinación de funciones específicas y generales, es muy fácil determinar la solución en base a la falla [11].

Las fallas se pueden presentar de varios tipos. Pueden darse fallas totales en las que el equipo o sistema no funciona de ninguna forma o fallas parciales, en las que el equipo o sistema en estudio funciona, pero no realiza su trabajo acorde a sus especificaciones. La importancia de diferenciar un caso del otro consiste en que al momento de estudiar los modos de falla o causas y al analizar la gravedad de estas fallas, se presentan diferencias en el resultado que pueden ser falla total o parcial [9].

Las fallas son un resultado. Lo importante del RCM no es determinar la consecuencia que da como resultado la falla sino las causas para posterior estudio de la gravedad de esta consecuencia, la probabilidad de que se produzca nuevamente y la facilidad para su detección con el fin adoptar las respectivas medidas preventivas que eviten que produzcan las causas que provocan las fallas [15].

Los modos de falla hacen referencia a las causas que generan las fallas. Una especificación se asocia a una sola función y una función está relacionada con una a tres fallas. Sin embargo, cada modo de falla puede tener varias causas, incluso más de 100, lo que en muchos casos resulta compleja la aplicación de la metodología RCM [16]. Cabe mencionar que esta complicación no tiene relación con la metodología, las causas de las fallas pueden ser varias.

RCM proviene de un sencillo concepto, con tan solo identificar todas las posibles causas potenciales de una falla y tomando las medidas preventivas adecuadas se logra evitar [12].

La parte fundamental del RCM consiste en determinar los modos de falla para posteriormente adoptar medidas preventivas que eviten que aparezcan las causas y se materialicen en forma de averías.

Una falla puede tener varias causas, mismas que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

Causas asociadas al diseño.

Causas asociadas al montaje.

Causas asociadas con la forma en que se operar el equipo

Causas asociadas con los mantenimientos que se realizan al equipo

Causas asociadas con los suministros que se requiere.

Causas asociadas con sus componentes internos.

Causas asociadas con factores ambientales en el que se encuentran los equipos.

Causas asociadas con otros equipos que provocan una falla.

Realizando un desglose de las todas las causas posibles, resulta que en un equipo realmente complejo puede existir más de 200 causas distintas que pueden provocar una falla. El trabajo que resulta realmente laborioso consiste en, una vez identificados las fallas (lo que resulta sencillo si se han descrito correctamente las especificaciones y se han fijado bien las funciones generales de un equipo o sistema) para cada falla se debe comprobar cuál de esas más de 200 causas pueden estar detrás de la falla producida, causando precisamente ese fallo. Falla por falla se debe

comprobar si esa tan amplia lista de más de 200 causas se encuentra asociada con la falla o no [17].

Este tema se complica aún más ya que cada modo de falla puede considerarse una falla en sí mismo, por lo tanto, puede estar siendo provocado por varias causas. Por lo que, para cada modo de falla se debe comprobar cuáles son las causas que lo provocan determinando de esta forma lo que se conoce como modos de falla de segundo nivel, lo que quiere decir, modos de falla que producen o provocan modos de falla.

Esto puede continuar mucho más inclusive puede llegar a modos de falla de quinto nivel. El problema radica en que al bajar un nivel en la determinación de modos de falla el trabajo se multiplica demasiado. Por esta razón en gran cantidad de organizaciones se analiza como máximo hasta el segundo nivel debido a que resulta imposible si no se dispone de recursos sumamente grandes como el mundo aeronáutico o las instalaciones nucleares, mismas que ponen en juego la seguridad y vidas humanas en riesgo constante por lo que justifica realizar tan arduo trabajo.

La aplicación de esta metrología permite identificar todos los modos de falla potenciales de una instalación industrial sin embargo el principal obstáculo que requiere cierto tiempo es la determinación de los modos de falla, siendo el principal inconveniente es lo que le da efectividad a esta metodología.

En la actualidad los fabricantes de los equipos de marcas reconocidas a nivel mundial mayoría incluyen en el manual del equipo los modos de falla más frecuentes en los equipos, las posibles causas y las soluciones, este pequeño fragmento dentro del manual de usuario se denomina AMEF.

### **Pasos para hacer un AMEF**

A continuación, se detalla paso a paso la realización de un AMEF [23].

1. Determinar el producto o proceso a analizar
2. Listar los pasos del proceso o las partes del sistema a analizar
3. Describir la función del paso o el componente
4. Determinar los posibles modos de falla de cada paso o componente
5. Listar los efectos de cada potencial modo de falla
6. Asignar el grado de severidad de cada efecto Severidad es la consecuencia de que la falla ocurra.

Para estimar el grado de severidad, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente. Se utiliza una escala del 1 al 10: el '1' indica una consecuencia sin efecto. El 10 indica una consecuencia grave (Figura 4).

Ranking	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido
10	Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea re trabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) re trabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser re trabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser re trabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Figura 4. Tabla para grado de Severidad. [12]

- Asignar el grado de ocurrencia de cada modo de falla Ocurrencia a la probabilidad de que la falla ocurra (Figura 5).

Ranking	Ratas Posibles de Fallas	Probabilidad de Falla	Cpk
10	1 en 2	Muy Alta:	< 0.33
9	1 en 3	Falla es casi inevitable	0.33
8	1 en 8	Alta: Generalmente asociada con procesos similares a procesos previos que han	0.51
7	1 en 20	fallado frecuentemente.	0.67
6	1 en 80	Moderada: Generalmente asociados con procesos similares a procesos previos	0.83
5	1 en 400	que han experimentado fallas	1.00
4	1 en 2,000	ocasionales, pero no en proporciones significativas	1.17
3	1 en 15,000	Baja: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1.33
2	1 en 150,000	Muy Baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1.5
1	1 en 1,500,000	Remota: Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos	1.67

Figura 5. Tabla para grado de Ocurrencia. [12]

- Describir si hay controles actuales de prevención
- Describir si hay controles actuales de detección
- Asignar el grado de detección de cada modo de falla Detección es la probabilidad de que la falla sea detectada antes de que generar el paro del equipo o sistema (Figura 6).



Ranking	Detección	Criterio: Probabilidad que la existencia de un defecto será detectada por la prueba conducida antes de que el producto avance al siguiente paso o proceso subsecuente.
10	Casi Imposible	Prueba detecta < 80 % de fallas
9	Muy Remota	Prueba debe detectar 80 % de fallas
8	Remota	Prueba debe detectar 82.5 % de fallas
7	Muy Baja	Prueba debe detectar 85 % de fallas
6	Baja	Prueba debe detectar 87.5 % de fallas
5	Moderada	Prueba debe detectar 90 % de fallas
4	Altamente Moderada	Prueba debe detectar 92.5 % de fallas
3	Moderada	Prueba debe detectar 95 % de fallas
2	Muy Alta	Prueba debe detectar 97.5 % de fallas
1	Casi Seguro	Prueba debe detectar 99.5 % de fallas

Figura 6. Tabla para grado de Detección. [12]

- Calcular el NPR (Número Prioritario de Riesgo) de cada efecto

$$NPR = Severidad * Ocurrencia * Detección$$

Este número indica la prioridad con la que se debe atacar un modo de falla identificado ya que establece una jerarquía con respecto a los problemas en función del grado de ocurrencia, severidad y detección.

500 – 1000	Probabilidad de riesgo de falla alta
125 – 499	Probabilidad de riesgo de falla media
1 – 124	Probabilidad de riesgo de falla bajo
0	No existe probabilidad de riesgo de falla

- Priorizar los modos de falla con el NPR de mayor a menor.
- Tomar acciones (acciones recomendadas) para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla, en este paso debe establecerse un plan de acción para mitigar el riesgo, a estas acciones se les llama acciones recomendadas.

### Indicadores

Resulta de suma importancia el resultado que se obtiene de la evaluación de los indicadores por dos razones. Se considera importante la mejora de un servicio con respecto a calidad ya que proporciona excelencia en el desempeño del trabajo sin embargo los aspectos competitivos no se pueden descuidar.

Con respecto a indicadores, se utiliza los de referencia mundial por lo que si implementación se realiza a través de sistema informático, mismo que se divide en tres grupos básicos [8].

#### Equipamiento

- Relacionado al tiempo medio entre fallas.
- Asociado al tiempo promedio para fallar.
- Con relación al tiempo medio para reparar.

Relacionado a la disponibilidad.

#### Gestión y productividad

- Con relación al cumplimiento de la planificación del mantenimiento.
- Relacionado a la ocupación
- Asociado al rendimiento.
- Asociado a eficacia.

#### Costos

- Relacionado a mantenimiento planificado.
- Asociado a mantenimiento correctivo.
- Resumen de las actividades de mantenimiento.

El disponer de un sistema de GMAO/GMAC (que hace referencia a sus siglas, gestión de mantenimiento asistido por ordenador/ computador), hace que los cálculos de los indicadores mencionados resulten fáciles y rápidos. Sin embargo, se debe tener cuidado y no olvidar el automatizar el cálculo respectivo para así generar un informe que los contenga a todos con la gran ventaja de generar informes con el periodo que se considere adecuado con el mínimo esfuerzo [9].

Es de suma importancia el tener en cuenta que resulta valioso conocer dos aspectos de un índice o indicador ya sea su valor, así como también su evolución por lo que se debe considerar plasmar en el documento a presentar los valores obtenidos en los índices sin olvidar reflejar su respectiva evolución, permitiendo apreciar valores de anteriores periodos como meses o años anteriores para así conocer si la situación está mejorando o caso contrario empeora. Es importante determinar un objetivo para cada índice o indicador con el fin de que cualquier persona que los vea comprenda si el resultado que se ha obtenido durante el periodo analizado es bueno. Se recomienda añadir junto al valor del índice dos datos puntuales:

- Valores obtenidos en periodos anteriores
- Objetivo definido

### **Indicadores de equipamiento**

Se considera importante de dos formas al resultado obtenido en la evaluación de indicadores. Mejorar la calidad del servicio es algo que proporciona excelencia en el correcto desempeño del trabajo, sin embargo, los aspectos competitivos no se deben descuidar. Los indicadores que van a ser utilizados son de referencia mundial por lo que para un buen resultado es recomendable que sean implementados a través de algún sistema informático, los indicadores a considerar son: indicadores de equipamiento, de gestión y productividad e indicadores de costos [10].

### **Índice de disponibilidad**

- *Disponibilidad total*

Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de "manipulación" tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un periodo:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

- *Disponibilidad por avería*

Intervenciones no programadas:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

- *MTBF, sus siglas en inglés hacen referencia a (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos)*

Estos datos son de sum importancia debido a que nos permite conocer la frecuencia con que se presentan las averías:

$$MTBF = \frac{\text{Número de horas totales del periodo del tiempo analizado}}{\text{Número de averías}}$$

- *MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)*

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{\text{Número de horas de paro por avería}}{\text{Número de averías}}$$

A través de un sencillo cálculo resulta sencillo deducir:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

### **Indicadores de gestión para órdenes de trabajo**

- *Cantidad de OT elaboradas en un periodo de tiempo determinado*

Es considerable si el número de OT resulta ser un indicador fiable con respecto a la carga de trabajo en un periodo de tiempo, 100 OT de una hora resulta factible agruparlas en una sola OT con un amplio concepto. Sin embargo, en base a la facilidad de obtener este dato, resulta ser de uso común este indicador.

Mientras mayor cantidad media de OT se tiene en una empresa mayor es la información que el indicador facilita. Por lo tanto, en una empresa que genera 100 OT o menos al mes presente menor validez este indicador que una empresa donde se genera 1000 OT al mes. Además, se puede estimar el rendimiento de la plantilla por medio del número OT.

- *Cantidad de OT por zonas o sectores.*

De la misma forma que el caso anterior, el empleo de este indicador es justificando por la facilidad de realizar su cálculo.

### *Cantidad de OT culminadas*

Resulta de gran utilidad el conocer la cantidad de OT culminadas con relación a OT generadas para poder apreciar cómo evoluciona en el tiempo este indicador.

#### *- Cantidad de OT pendientes*

Para tener una idea de la eficacia con la que resolvemos un problema este indicador nos puede ayudar. Se considera un indicador sumamente importante ya que en compañía con otros indicadores de disponibilidad como los de costo o el de emergencias. Resulta conveniente diferenciar las OT pendientes por algún motivo ajeno a mantenimiento como, por ejemplo: entrega de repuesto por parte del comerciante de este, pendientes por falta de autorización para intervenir el equipo, etc. Pendientes por acumulación de tareas o falta de organización de mantenimiento.

Por estos motivos resulta conveniente realizar una división de este indicador:

- Repuesto pendiente por entrega
- Paro de un equipo con autorización
- Pendientes por causas varias

#### *- Cantidad de OT de Emergencia con alta prioridad.*

En una empresa o planta de producción una referencia crucial con respecto a mantenimiento puede ser la cantidad de OT de emergencia que se han generado en un periodo de tiempo determinado. En el caso de no tener ninguna OT de emergencia o pocas se puede tener la seguridad del buen estado de la empresa o planta de producción. Sin embargo, si las OT de emergencia que se han generado son de gran cantidad se puede concluir con que el estado de la planta no es el adecuado. De todas formas, es importante el observar cómo ha evolucionado el indicador con relación a los anteriores periodos.

#### *- Trabajo pendiente (horas aproximadas)*

Resulta de la sumatoria de las horas aproximadas que se estiman en función de la experiencia de cada una de las actividades pendientes de realizar

Este es un parámetro de suma importancia incluso más importante que la cantidad de OT pendientes ya que permite conocer la carga de trabajo aproximada por realizar.

#### *- Cumplimiento de la planificación (índice)*

Resulta ideal el empleo de este indicador sin embargo no es muy común encontrar empresas que lo tengan implementado

$$\begin{aligned} & \text{Cumplimiento de planificación (índice)} \\ &= \frac{\text{Cantidad de OT culminadas en la fecha planificada}}{\text{Cantidad de OT totales}} \end{aligned}$$

De esta forma se puede medir el grado de acierto con el que se realizó la planificación, resulta de la proporción de las OT culminadas en la fecha planificada dividida con la cantidad de OT totales.

- *Tiempo planificado (Desviación media)*

Resulta de dividir la sumatoria de horas de desviación con el tiempo planificado entre la cantidad de OT total.

Se puede tener dos variantes:

- Desviación media sobre el momento de finalización. Cociente de dividir la suma del nº de horas en que se ha rebasado cada una de las órdenes sobre el momento estimado de finalización:

$$\text{Retraso medio} = \frac{\sum \text{Retrasos de cada OT}}{\text{cantidad de OT}}$$

- Desviación media de las horas/hombre empleadas en una O.T. sobre las horas/hombre previstas:

*Desviación media*

$$= \frac{\sum \text{Incremento de horas/hombre en todas las OT}}{N^{\circ} \text{ de órdenes de trabajo}}$$

- *Tiempo medio de resolución de una O.T.*

Es el cociente de dividir el nº de O.T. resueltas entre el nº de horas que se han dedicado a mantenimiento:

$$\text{Tiempo medio} = \frac{N \text{ de órdenes de trabajo resueltas}}{N^{\circ} \text{ de horas dedicadas al mantenimiento}}$$

## Índices de coste

Aunque los costes no parecen en principio un indicador habitual para mantenimiento, nada está más alejado de esa realidad. El coste, junto con la disponibilidad, son los dos parámetros que el responsable de mantenimiento maneja constantemente, y eso es porque la información que le aportan es determinante en su gestión.

La cantidad de índices que hacen referencia a los costes del departamento de mantenimiento es inmensa. Aquí se exponen algunos que pueden resultar prácticos.

- *Coste de la Mano de Obra por secciones*

Si la empresa se divide en zonas o secciones, es conveniente desglosar este coste para cada una de las zonas o secciones. Si éstas tienen personal de mantenimiento permanente, el coste será el del personal adscrito a cada una de ellas. Si se trata de un departamento central, el coste por secciones se calculará a partir de las horas empleadas en cada una de las intervenciones.

- *Proporción de coste de la Mano de Obra de Mantenimiento*

Es el cociente de dividir el nº total de horas empleadas en mantenimiento entre el coste total de la mano de obra:

$$\text{Coste de hora medio} = \frac{N \text{ de horas de mantenimiento}}{\text{Coste total mano de obra de mantenimiento}}$$

- *Coste de materiales*

Se pueden hacer tantas subdivisiones como se crea conveniente: por secciones, por tipo (eléctrico, mecánico, consumibles, repuestos genéricos, repuestos específicos, etc.)

- *Coste de subcontratos*

También pueden hacerse las subdivisiones que se considere oportunas. Algunas subdivisiones comunes suelen ser:

- Subcontratos a fabricantes y especialistas.
- Subcontratos de inspecciones de carácter legal.
- Subcontratos a empresas de mantenimiento genéricas.

- *Índice de Mantenimiento Programado*

Es la suma de todos los medios auxiliares que ha sido necesario alquilar o contratar: grúas, carretillas elevadoras, alquiler de herramientas especiales, etc.

Con todos los índices referentes a costes puede prepararse una Tabla de Costes (tabla 1), como la que se muestra en la tabla adjunta. En ella pueden visualizarse con rapidez todos gastos de mantenimiento de la planta, divididos en conceptos y en secciones. Presentarlos de esta manera facilitará su lectura y la toma de decisiones consecuente.

Tabla 1. Tabla de Costes [13].

SECCIONES	Mano de obra	Nº de horas	Materiales	Subcontratos	Medios aux.	TOTALES
A						
B						
TOTALES						

**Índices de proporción de tipo de mantenimiento**

- *Índice de Mantenimiento Programado*

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Programado sobre horas totales.

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

- *Índice de Correctivo*

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Correctivo sobre horas totales.

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

Una variante de este indicador es el cálculo del IMC sobre número de órdenes de trabajo correctivas sobre el número total de órdenes de trabajo. Es más sencillo, aunque la información que proporciona es de menor calidad y más fácilmente manipulable. De todas formas, una y otra forma de cálculo son perfectamente válidas para ver la situación en un momento determinado y para estudiar la evolución de este parámetro.



El IMC es un indicador tremendamente útil cuando se está tratando de implementar un plan de mantenimiento preventivo en una planta en la que no existía tal plan; también es muy útil cuando se están implementando cambios en el departamento; y por último, es muy interesante cuando se trata de evaluar el trabajo de un contratista de mantenimiento en contratos de gran alcance en los que la gestión del mantenimiento recae en el contratista (los buenos contratistas tienen un IMC muy bajo).

- *Índice de Emergencias*

Porcentaje de horas invertidas en realización de O.T. de prioridad máxima:

$$IME = \frac{\text{Horas O.T. prioridad máxima}}{\text{horas totales de mantenimiento}}$$

La importancia de este indicador radica en que cuanto mayor sea el número de Órdenes de Trabajo de emergencia, peor es la gestión que se hace del mantenimiento. El caso extremo es el de plantas que no tienen implementado ningún plan de mantenimiento preventivo, en el que el mantenimiento se basa en 'crisis' (de ahí que a veces se denomine 'mantenimiento de crisis'). En ellas el índice es el 100%. Por extraño que pueda parecer son muchas las plantas en las que este índice alcanza su valor máximo.

Una variante más sencilla de este índice es realizar el cálculo no sobre horas invertidas en OT de prioridad máxima, sino en el número de OT de prioridad máxima sobre el número de OT total. Aunque es más fácil de implementar y de calcular, evidentemente la información que aporta es menos concluyente.

### **Informes técnicos**

El sistema informático almacenará en soporte digital toda la información relacionada con las actividades de mantenimiento; así como permitirá la salva en copia impresa de dicha información. Los modelos a implementar son los siguientes:

- Expediente técnico
- Inventario Técnico
- Ficha de Vida
- Informe de Actividades de Mantenimiento
- Programa Anual de MPP
- Presupuesto Operativo

- Solicitud de Compras
- Modelo de registro de los medios de medición
- Censo de personal técnico de mantenimiento
- Solicitud de Mantenimiento
- Orden de Trabajo
- Encuesta para Jefes de Servicio

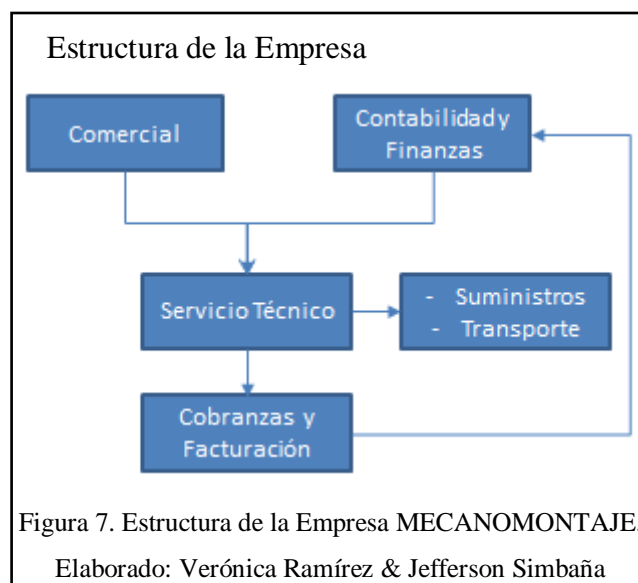
## CAPITULO 3

### DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez definida la metodología, se procede a la aplicación de la misma en cada uno de los procesos y pasos que se deben cumplir para lograr condiciones óptimas de mantenimiento y manejo de recursos de la empresa MECANOMONTAJE. Se procederá a la evaluación de indicadores de Mantenimiento de acuerdo al sistema implementado como resultado del cambio producido en su funcionamiento y la creación de nuevas visiones para ser competitivos en el mercado al que MECANOMONTAJE presta servicio.

#### 3.1 Organización de la Empresa

El organigrama de la empresa, la organización funcional y sus peculiaridades se presentan en la Figura 7.



La Empresa cuenta con dos pilares: el Departamento Comercial, que es el encargado del manejo del mercado exterior, manejo de clientes, promoción de la Empresa para nuevos clientes potenciales y el Departamento de Contabilidad y Finanzas, quien maneja la parte económica de ingresos y gastos de la Empresa contando con un flujo de capital para el desempeño de la Empresa a lo largo del año de acuerdo a la planificación anual y tomando en cuenta los imprevistos a suscitarse en el periodo.

Como Apoyo a estos dos pilares se encuentran el Departamento Técnico y El Departamento de Cobranzas y Facturación , en el Departamento Técnico se

encuentra el Jefe de Mantenimiento y los técnicos especialistas encargados de realizar el trabajo de mantenimiento en sitio sea por mantenimiento preventivo o correctivo, apoyados siempre por los recursos que se requieran para el cumplimiento de sus actividades, Cobranzas y Facturación es el encargado del recaudo de las ventas realizadas del periodo.

### **3.2 Recursos y medios disponibles en el Departamento de Mantenimiento**

MECANOMONTAJE maneja un presupuesto anual en dependencia de sus necesidades, es decir, a la Empresa se le adjudican contratos anualmente con periodos de enero a diciembre, dentro de éstos contratos se establecen los equipos, instalaciones y sus frecuencias, periodos de control y mantenimiento. Con esta información se planifica los diferentes recursos para su cumplimiento, entre estos: personal, insumos, repuestos y extras que se presentan durante el año y que requieren ser cubiertos por la Empresa para dar respuestas rápidas a las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo.

La valoración y adquisición de tecnología se realiza de forma independiente. La Empresa no cuenta con un almacén independiente para el mantenimiento, pero el Jefe de Mantenimiento está encargado de la gestión del mismo. El departamento está compuesto por técnicos con capacidad y conocimiento en las ramas de electricidad, mecánica industrial, climatización, tratamiento de agua y operación de calderos. Estos son los encargados de ejecutar las órdenes de trabajo correspondientes a los trabajos planificados y ejecutar las acciones correctivas en caso de avería [10].

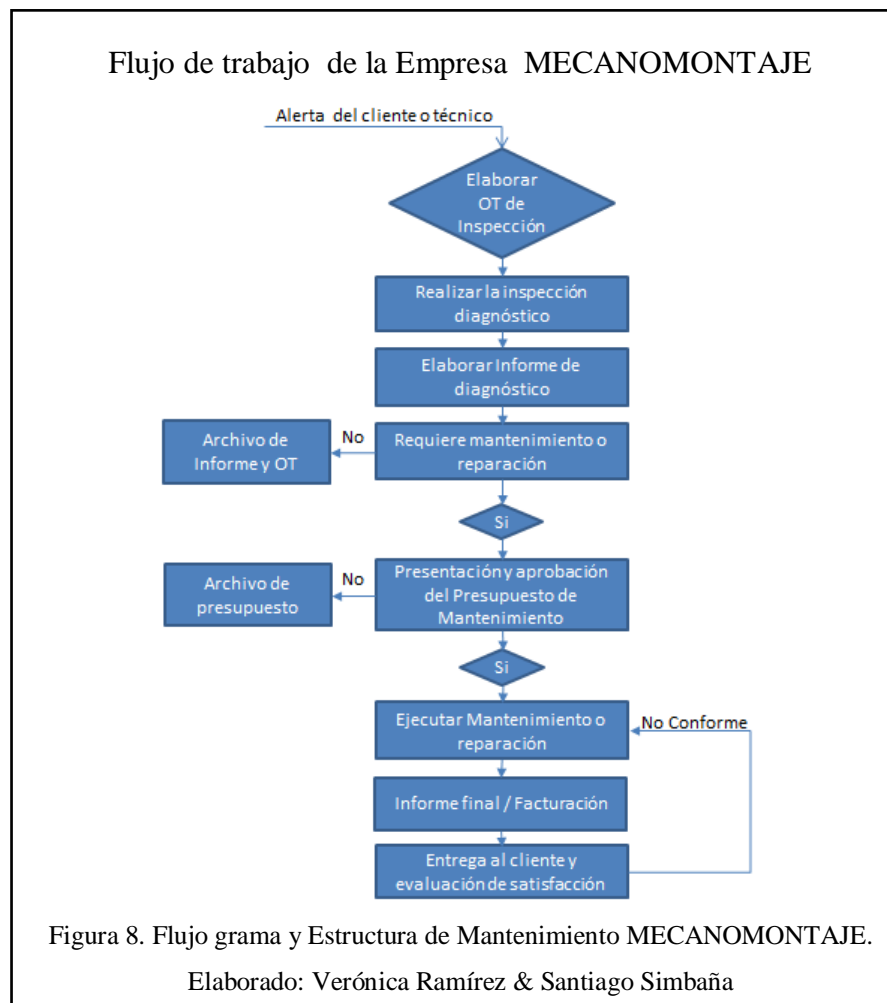
La Empresa siempre tiene como tema primordial y esencial que el personal encargado de la elaboración del mantenimiento cuente con las herramientas e instrumentos necesarios para ejecutar las tareas pertinentes. Los trabajos de mayor que requieran un trato especial sea por tecnología o por instalaciones nuevas serán con contratación a terceros, pero asumiendo la Empresa la garantía hacia el cliente final.

### **3.3 Flujo de Trabajo**

Se establece como trabajar cuando llega una Orden de Trabajo (OT) (Anexo 1) al departamento. Cada responsable de equipos o la Administración del Edificio, emitirá una Orden de Trabajo en caso de avería o alerta, dicha solicitud llega al departamento y el Jefe de Mantenimiento ordena realizar una inspección de

diagnóstico al técnico especializado, de la inspección realizada se elabora el informe donde se determinará si es necesario o no continuar el procedimiento para realizar un trabajo por parte del personal de mantenimiento. En caso verdadero el Jefe de Mantenimiento elaborará junto con el informe realizado, el detalle de las tareas a realizar de mantenimiento, presupuesto para el mismo y se la entregará a la Gerencia de Mantenimiento, quien se encargará de coordinar con el cliente (Administración) para su ejecución o archivo.

Aprobado el presupuesto por parte del cliente, se procede a dar la orden de realización del trabajo por el especialista correspondiente que se encargará de llevar a cabo las acciones pertinentes (Figura 8). Finalmente se entrega a la Administración un informe final de trabajo finalizado, adjunto con la facturación del trabajo realizado y los recursos consumidos.



Las solicitudes de mantenimiento llegarán al departamento a través de reportes en formato papel y mediante el software de mantenimiento.

### **3.4 Recursos Informáticos; Software y Relación con el Equipo**

Para la adquisición del Software de Mantenimiento, se analizó los términos comunes y plataformas de gestión. Los criterios tomados para la selección del software fueron.

#### **Costo mensual**

Al ser un proyecto de universidad, el enfoque que toma una inversión es suplir de cierta forma una necesidad al menor costo posible, de modo que se tomará en cuenta el costo de mensualidades o costo final dividido en 12 meses quedando como tiempo de proyecto 1 año confirmando su efectividad.

#### **Dificultad de implementación**

Un software puede tener muchas características o herramientas para su funcionalidad que resultan tediosas y que puede generar cansancio en la vista, por esta razón los softwares actuales hacen de sus plataformas herramientas interactivas que sean atractivas a la vista y genere cierto sentimiento de confort al utilizar las herramientas de un software por parte del usuario.

#### **Soporte**

La mayoría de los softwares de gestión de activos son de procedencia extranjera por lo que se debe acudir con un representante dentro del país, el programa elegido debe tener este plus que es vital cuando la persona encargada de la información del programa y la Empresa, requiera respuestas rápidas.

#### **Usuarios**

El hecho de que en la época actual el internet de las cosas involucre casi el 100% de las actividades cotidianas de una persona, crea la necesidad de mantener conectados a gran cantidad de usuarios en tiempo real conectándolos con la información de forma organizada y rápida, haciendo así más eficiente y económica una gestión de mantenimiento.





Software de Gestión de Mantenimiento					
		COSTO MENSUAL	DIFICULT	SOPORTE	USUARIOS
	MP SOFTWARE	☹	☹	☹	☹
	FRACTAL	☹	☺	☺	☹
	4TUNA.IO	☺	☺	☺	☺
	SAP BUSINESS ONE	☹	☹	☹	☹

Figura 9. Tabla de Software basado en criterios.  
Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

Basado en estos criterios MECANOMONTAJE trabaja su gestión de Mantenimiento en el software 4TUNA (Figura 6). Este programa muestra varios beneficios e interés que desarrolla la Empresa, tiene una excelente relación con el usuario, de fácil uso y al trabajar en línea la interrelación entre las personas interesadas en un tema en común observarán las actividades en tiempo real y sobre todo el propietario de la Empresa está en la capacidad de elegir la información que quiere mostrar a cada uno de los usuarios respecto a su empresa incluido trabajadores y clientes.

El programa 4TUNA tiene su aplicación tanto en teléfonos móviles con en computadores portátiles o de escritorio que tengan servicio de internet. En computadores debe cumplir los siguientes requerimientos en software: windows XP, windows Vista, windows 7, 4G en RAM, procesador 2 GHz, Intel DUAL. En los documentos anexos se detalla en funcionamiento del Programa software y sus aplicaciones.

El cronograma de mantenimiento que va incluido en cada objeto (equipo) tiene relación directa con la planificación aprobada por el cliente en la aprobación del contrato.

### 3.5 Informe previo de la Gestión de Mantenimiento

MECANOMONTAJE ha ido desarrollando en el tiempo la confiabilidad por parte del cliente por la calidad y responsabilidad al momento de realizar el trabajo. Sin

embargo, al no tener en conocimiento de la cantidad de equipos y sistemas que maneja bajo su responsabilidad esto se convertía en un caos cuando dos o tres edificios presentaban alertas y eran pocos los técnicos que sabían cómo actuar ante emergencia porque nunca se tenía un flujo de cómo llevar los mantenimientos preventivos y correctivos. Así como la única información que se tenía en el mejor de los casos era el manual del equipo. Nunca se llevó un historial (lo que ahora se conoce como AMEF), y los especialistas manejaban la solución de problemas de acuerdo a su experiencia, que si bien es cierto tiene alto grado de efectividad al acertar en la reparación pero que otro técnico con el mismo problema no va a tener la capacidad de respuesta rápida al no tener el suficiente conocimiento y guía de soluciones para problemas que son repetitivos.

Cada persona realizaba las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo a su criterio técnico y experiencia sin contar con un check list de actividades y recursos para garantizar excelente resultado posterior al mantenimiento del equipo o sistema. No se contaba con el stock mínimo de los recursos consumibles y de repuestos críticos a tal punto que cuando sucedía el fallo se “perdía” tiempo en la búsqueda y sobre todo disponibilidad del repuesto en el Mercado.

MECANOMONTAJE ante todos estos “vacíos” presentaba su carta que hasta la fecha es el pilar para su crecimiento, que es la capacidad de respuesta a los problemas (analiza y detecta el fallo en el tiempo más corto) la adquisición del repuesto y reactivación del equipo sin la necesidad de requerir pagos por adelantado por parte del cliente. Al finalizar el trabajo hace llegar el informe final de reparación o mantenimiento, conjunto a la factura y al repuesto o accesorio dañado en respaldo de las actividades realizadas.

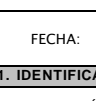
### **3.6 Organización del Personal**

[10] El personal necesario para ejecutar las acciones preventivas al equipamiento, sistema de distribución, entorno y las acciones correctivas; así como, reparaciones constructivas se seleccionó aplicando la distribución de la figura 10. El 35% del mantenimiento preventivo encierra un 25% del fondo de tiempo del trabajador para atención al equipamiento 5% para la atención a los sistemas de distribución y otro 5% para el mantenimiento de entorno (Figura 10).





Así mismo se cuenta con el perfil que debe cumplir el personal de acuerdo a la función que va a cumplir dentro de la empresa, estos perfiles son: Comercial, Contabilidad y Finanzas, Cobranzas y Facturación, Jefe de Mantenimiento, Técnico Especialista, Ayudante, la Figura 11 muestra el Perfil de Cargo requerido para el Área Comercial.



**MECANOMONTAJE**  
INGENIERÍA HIDRÁULICA

## PERFIL DE CARGO

FECHA: 21/06/2019

**1. IDENTIFICACIÓN DEL CARGO**

DENOMINACIÓN: Comercial      CÓDIGO: N/A  
 NIVEL REQUERIMIENTO: Importante      ASIGNACIÓN SALARIAL: 1300,00 usd  
 DEPENDENCIA: Propietario de la Empresa

**2. OBJETO GENERAL DEL CARGO**

\* Manejo de las Relaciones Comerciales óptimas con los clientes actuales de la Empresa, estar al pendiente de sus exigencias y conformidad con el servicio brindado por la Empresa.  
 \* Buscar y promocionar nuevos posibles clientes, de acuerdo al campo donde aplica los servicios profesionales de la Empresa  
 \* Estar a la expectativa de aumentar la Satisfacción al Cliente, en base a la información obtenida desde la fuente (cliente) o de la información obtenida internamente sea por los trabajadores de la Empresa u OT (Orden de Trabajo)

**3. REQUISITOS MÍNIMOS**

3.1 FORMACIÓN ACADÉMICA

Superior, Tecnólogo en Marketing

3.2 EXPERIENCIA LABORAL

Mínimo 2 años de Experiencia

**4. DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES**

FUNCIONES	PERIODICIDAD	TIPO
Comunicación con clientes	d	c
Busqueda de nuevos clientes	m	a
Evaluación de la Satisfacción del Cliente	m	a
Mejora continua de la calidad del servicio	m	c

Convenciones	TIPO DE FUNCIÓN	Ejecución (e)	Análisis (a)	Dirección (d)	Control (c)
	PERIODICIDAD	Ocasional (o)	Diaria (d)	Mensual (m)	Trimestral (t)

Figura 11. . Perfil de cargo requerido para el manejo del área comercial en MECANOMONTAJE. Elaborado. Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

Para llevar el control de las actividades que se realicen durante el día se realiza una reunión diaria a las 08:00 am. El jefe de mantenimiento se reunirá con sus especialistas de mantenimiento para definir las prioridades del día, situación de sistemas o equipos parados, trabajos pendientes etc., se utilizará el Registro de Planificación Diaria (Anexo 2). De igual forma todos los últimos días laborables de cada semana se discutirá un resumen de lo ocurrido. Antes del día 5 de cada mes cada especialista de mantenimiento debe de entregar las órdenes de trabajo preventivas a sus subordinados. Antes del día 25 de cada mes, todas las órdenes de

trabajo correspondientes a los mantenimientos preventivos deben de ser entregadas al técnico en mantenimiento para su procesado.

### **3.8 Plan de mantenimiento inicial**

En la empresa MECANOMONTAJE se realizaba el mantenimiento preventivo planificado (cronograma anual de mantenimiento); pero no se programaba de forma adecuada, es decir, se generaban demasiadas órdenes de trabajo (OT) correctivas. Esto es un indicador de la falta de calidad en la ejecución de los mismos o la inadecuada programación. En la investigación realizada se observaron que en los planes de mantenimiento no se analizaba el comportamiento del equipo en el año (frecuencia de roturas o desgaste) y en dependencia de este criterio no se ajustaban los planes de mantenimiento.

Es necesario señalar que las OT generadas tanto correctivas como preventivas se archivaban desorganizadamente en gavetas hasta que llegara el tiempo de destrucción de la documentación (5 años).

Esto imposibilitaba el control del trabajo realizado, rastrear o reconstruir la historia de un equipo, procesar la información recibida y sobre todo se dificultaba demostrar ante cualquier auditoría el cumplimiento de las buenas prácticas de instalación, mantenimiento y fabricación. Analizando estas deficiencias, se tomaron algunas acciones correctivas para darle un vuelco a la situación problema.

#### **3.8.1. Proceso para Realización de una Actividad de Mantenimiento**

Basado en el Flujo grama y estructura de Funcionamiento (Figura 4), se establece que primero debe existir una alerta por parte del cliente ó el técnico por medio del programa 4TUNA o un medio de comunicación sea estas alertas por mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo, de inmediato el Jefe de Mantenimiento genera una Orden de Trabajo que será asignada al técnico de acuerdo al tipo de trabajo que se deba realizar sea mecánico, eléctrico, etc.

Existen dos tipos de OT correctivo (imprevistos) y preventivo (planificación sistemática), dependiendo el caso se maneja de la siguiente forma:

#### **Mantenimiento Preventivo**

Para esto se cuenta con una planificación que fue tomada en cuenta con anticipación, donde el o los operarios que van a realizar la intervención de mantenimiento cuentan

con los recursos para la realización de dicha actividad, entre estos están insumos, repuestos, transporte, viáticos, y registros.

Dentro de los registros se manejan dos formatos la Bitácora de Mantenimiento (Anexo 3: Formato Bitácora de Mantenimiento) que se encuentra disponible en cada edificación y se registra cada vez que se acude al edificio para realizar actividades sea de control o mantenimiento y el Informe (Anexo 4. Formato Informe). En el Informe se realiza una descripción a detalle de lo encontrado en el sitio, las tareas realizadas o por realizar, detalles fotográficos y de ser el caso incluye la proforma del trabajo a realizarse. Terminado el trabajo se entrega al Jefe de Mantenimiento para su respectiva aprobación con el cliente.

Terminado el trabajo y con la recepción y el visto bueno por parte del cliente, el Informe en conjunto con la OT y la factura, es entregado al cliente para su respectivo trámite de pago, En el Departamento de Mantenimiento una copia de esta información es Archivada en su respectiva carpeta y su información ingresa al programa \$TUNA para su registro virtual.

### **Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento requiere de respuestas rápidas, al momento de recibir la alerta por parte del cliente o técnico encargado, el Jefe de Mantenimiento asigna a un técnico especialista en el tipo de fallo presentado y si no se dispone de información específica y clara el Jefe de Mantenimiento debe acercarse al lugar del fortuito.

MECANMONTAJE, es sus responsabilidades para con el cliente tiene establecido como tiempo de respuesta hasta 3 horas en casos de emergencia.

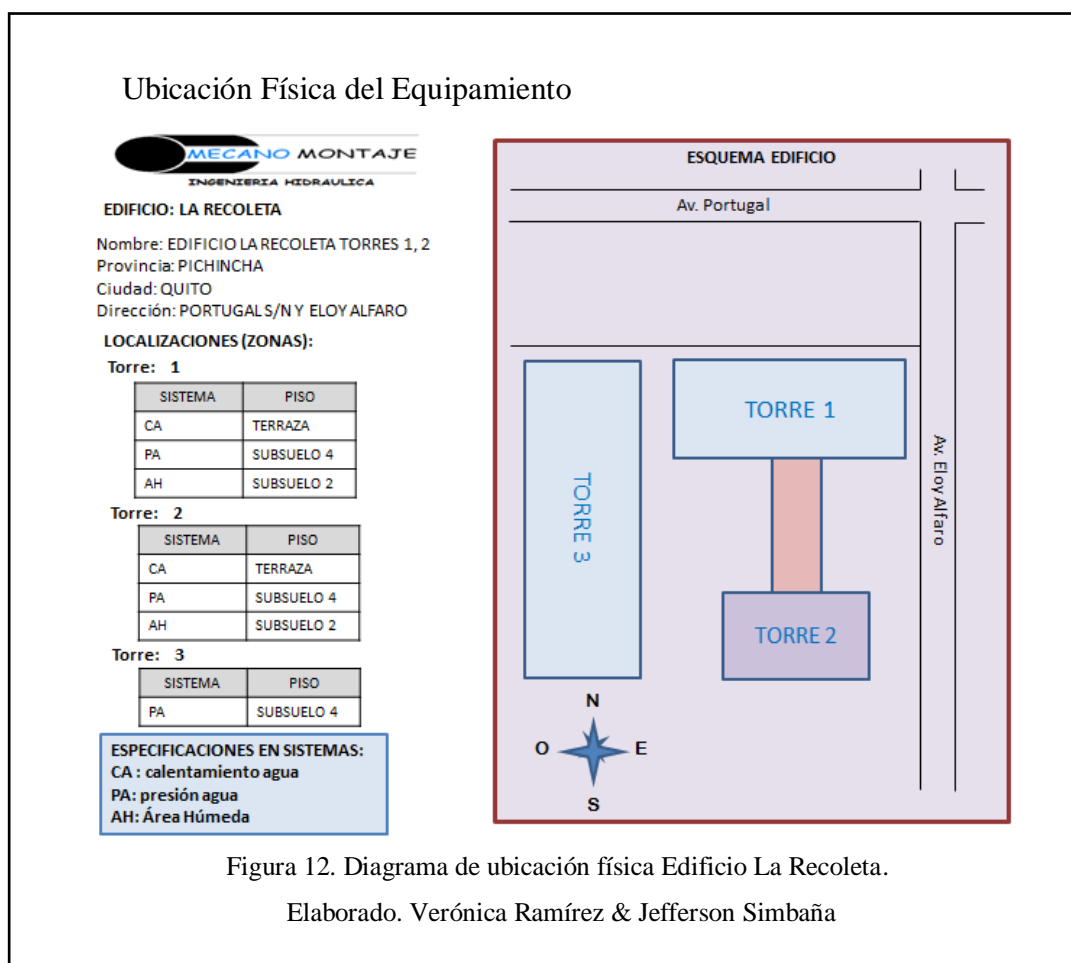
En sitio y después de identificado el problema se informa por parte del Jefe de Mantenimiento al Cliente del caso encontrado, su actividad para ser reactivado y costos. Para esto se ayuda de los formatos de Informe, Lista de Ítems (programa 4TUNA) y cuadro de costos. Posterior a la aprobación por el cliente se procede a ejecutar lo previsto según orden de trabajo.

Terminado el trabajo y con la recepción y visto bueno por parte del cliente, el Informe en conjunto con la OT y factura, es entregado al cliente para su respectivo trámite de pago, En el Departamento de Mantenimiento una copia de esta información es Archivada en su respectiva carpeta. Su información ingresa al

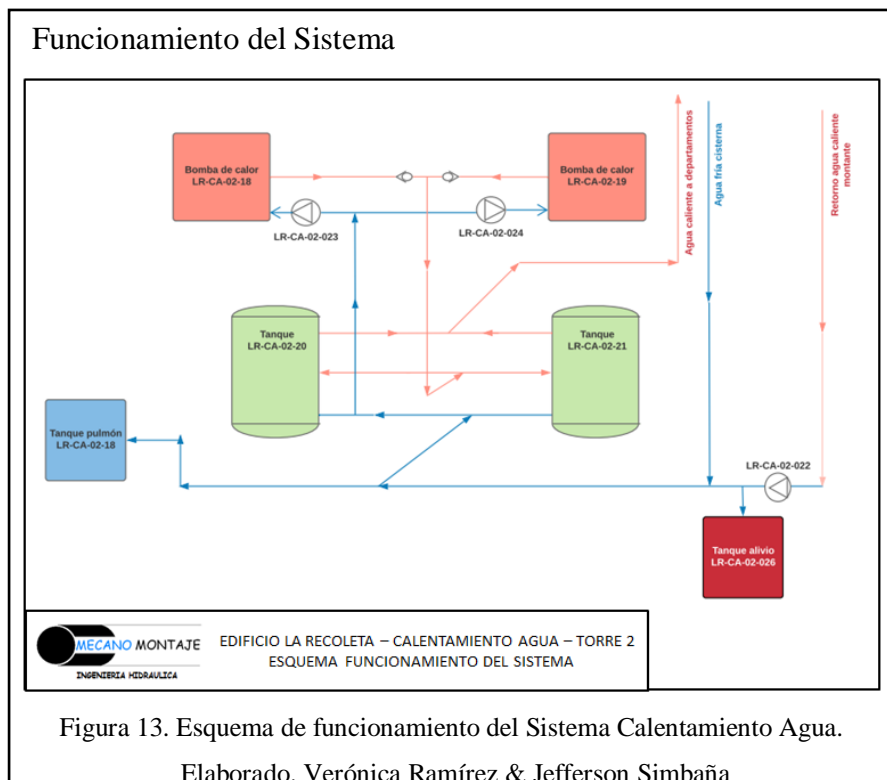
programa 4TUNA para su registro virtual y al registro de Hoja de Vida de Equipo o Instalaciones en archivo Excel (información digital) (Anexo 5).

### 3.9. Información previa de Equipos e Instalaciones.

El personal debe estar en la capacidad de conocer la ubicación física y geográfica del sitio donde se encuentra el equipo o sistema a ser inspeccionado, así como lo detalla la Figura 12.



El personal posterior a la identificación geográfica del edificio debe proceder a conocer el funcionamiento del sistema como conjunto, para esto se ayuda del Esquema de Funcionamiento del Sistema que se encuentra ubicado en los respectivos sitios de trabajo o también conocidos como cuartos de máquinas (figura 13). En este formato se encuentra detallado los componentes y equipos que conforman el sistema e incluyen las codificaciones dadas a cada equipo.



Para conocer más a detalle del manejo y funcionamiento del equipo se debe proceder a revisar la ficha técnica de cada equipo, el plan de mantenimiento por equipo con las tareas y parámetros a ser revisados y realizados de acuerdo a las frecuencias de mantenimiento programadas, el AMEF de cada uno de estos equipos. La información también se encuentra incluida en el programa de mantenimiento 4TUNA, en el cual se encuentra registrado actividades, parámetros, frecuencias, manual en PDF, entre otros ítems fundamentales para conocer al equipo antes de tener un contacto directo con él.

A continuación, se toma como ejemplo de lo escrito en el párrafo anterior a un equipo en específico que es: Bomba de Calor # 5.

### Ficha técnica Equipo

En este documento se detalla los aspectos más importantes y partes relevantes del equipo a ser analizado. Las precauciones que tenerse cuando se tenga contacto con el equipo, y las especificaciones del proveedor del equipo con la finalidad de optimizar tiempo cuando se requiera contactarse con el distribuidor sean por repuestos o por asesoramiento técnico (Anexo 6) (Figura 14).

## Análisis de Modo y Efecto de Falla

Para la elaboración de AMEF del equipo se toma como información de entrada los modos de falla enunciados en los manuales y el historial del equipo respecto a paros y sus reparaciones (Anexo 7) (Figura 15).

### Ficha Técnica Equipo

MECANO MONTAJE INGENIERIA HIDRAULICA		FICHA TECNICA EQUIPO			
Código:	LR-CA-02-018	Versión:	1	Fecha Vigencia:	01/12/2019
Nombre del Equipo:	Bomba de calor # 5				Foto del Equipo:
Marca:	HIDROTERM	Modelo:	ARG-10S		
Serie:	HIDROTERM-201507-10s-001	Ubicación:	Edificio LA RECOLETA, Torre 2, Terraza		
Fecha de compra (aaaa/mm/dia):					
Fecha de entrega OK (aaaa/mm/dia):					
Garantía en meses:	N/A	Placa de Inventario:			
Valor de compra:					
Valor inventario:	\$ 5.800				
A cargo de:	Tecnico en Refrigeración				Reemplazo
Jefe de Mantenimiento					
Datos Técnicos					
Voltaje	220 V	Amperaje	34 A	Potencia:	36 KW
Otros:	Presión en alta 2,8 Mpa; Presión en baja 0,6 Mpa; Refrigerante R417A/4,2 kg;				
Accesorios:	Bomba de recirculación, sensores de temperatura, sensores de presión, pantalla tactil de señales de funcionamiento				
Partes:	Compresor, ventilador, serpentín, válvula de expansión, circuito eléctrico con placa electrónica.				
USOS O APLICACIONES					
Equipo se encarga del calentamiento de agua que viene desde los tanques de acumulacion y retorna al mismo tanque para posteriormente ser entregado a los diferentes pisos y departamentos de acuerdo a la demanda de los usuarios.					
PRECAUCIONES/MANTENIMIENTO/DISTRIBUIDOR/MANUALES					
PRECAUCIONES/DANGER/WARNING/CAUTION/CLASE SEGÚN DECRETO No. 4725 de 2005					
Equipo trabajo con voltaje 220V, se recomienda apagar el equipo cuando se requiera inspección por alerta ó mantenimiento programado. El ventilador que se encuentra en la parte superior descarga el aire de adentro hacia afuera por lo que se recomienda cuidado al momento de trabajar con el equipo encendido. Ante una señal de descarga eléctrica de inmediato se debe proceder a apagar los breakers ubicados en el cuarto de máquinas. Ante la presencia de fuga de agua se debe proceder a apagar los breakers y cerrar la línea de ingreso de agua desde la cisterna.					
RECOMENDACIONES DE USO:	LEA EL MANUAL DEL EQUIPO ANTES DE OPERARLO. El equipo esta diseñado para trabajar al ambiente, no debe tener ningún tipo de obstrucción superior y lateral para garantizar su eficiencia en la transferencia de calor El voltaje debe venir directo de una fuente central de breakers para garantizar que no hay caída de voltaje por presencia de consumo de otros equipos, Suministro de agua (caudal) debe ser el requerido por el fabricante				
MANTENIMIENTO OPERARIO:	Semanal: control de parámetros de funcionamiento tales como voltaje, amperaje, presión del refrigerante, revisar que esté operativo (se procede a realizar la comprobación de temperatura de entrada (menor temperatura) y salida de agua (mayor temperatura) Semestral: mantenimiento integro del equipo, el equipo se para durante el tiempo necesario para la realización de la actividad por parte del personal calificado (tiempo aproximado de paro 2 horas)				
PARÁMETROS INICIALES O VALORES DE CALIBRACIÓN:	Voltaje: 220V Amperaje: 34A Presión alta: 2,8 Mpa Temperatura de salida: 67°C				
MANTENIMIENTO PROGRAMADO (EN MESES): semestral (Agosto 2019 - Febrero 2020)					
FABRICANTE Y/O DISTRIBUIDOR DEL EQUIPO:		HIDROTERM			
Celular:	969326722	Teléfono:	25127059	Dirección:	Av. 6 de Diciembre N43-34 y Tomás de Berlanga
E-mail:	info@hidroterm.com	Nombre de Contacto:	Nora Castro		
ING. DE SERVICIO:				CELULAR / IP	
Código del Manual	15A-1	Elaboró:	Rafael Torres		
Ubicación del Manual	Carpeta de Archivos del Edificio / Software				

Figura 14. Ficha técnica Bomba de Calor # 5. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña



## ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS (AMFE)

<b>Nombre del Sistema / Equipo (Título):</b>	Bomba de Calor	<b>Fecha AMFE:</b>	04/04/2019
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Mantenimiento	<b>Fecha Revisión</b>	0
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Jefe de Mantenimiento		

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	Método de detección	Gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR inicial	Acciones recomend.	Responsable	Acción Tomada	Gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR final
Temperatura Alta	El termistor o el tablero de control funcionan mal.	La temperatura del agua supera los 42° C en Área Húmeda y 60°C en Calentamiento para Departamentos .	Daño en el termistor por vida útil o desgaste del material	Daño visible por la pantalla del tablero de control	10	1	1	10	Medir la temperatura del agua para ver si es correcta, si no lo es, usar una prueba de resistencia de 10K ohm para verificar el termistor. Si funciona mal, reemplázelo. Si funciona bien, reemplace el tablero de control	Técnico en Refrigeración	Cambio del termistor	5	1	0	0
Bajo Flujo	La bomba de circulación de agua está apagada	No existe recirculación de agua en la línea	No hay alimentación eléctrica	Medir ingreso de voltaje a la bomba con multimetro	6	1	1	6	Verifique que la bomba de circulación de agua esté encendida. Controlar voltaje de entrada a la línea						0
	Flujo insuficiente de agua.	Bajo flujo de agua	propulsores y filtro obstruidos por impurezas	Observar presión de agua a la salida de la última línea de entrega de agua	7	2	1	14	Los filtros están sucios o desgastados, o los colectores de fibras están obstruidos. Verifique que el filtro esté limpio, lávelo a contra corriente si es necesario para limpiar el sistema completo de filtración o reemplace el elemento de filtración si es necesario. Inspeccione y limpie el propulsor de la bomba.						0
	La válvula externa de derivación está abierta	No existe recirculación de agua en la línea	Agente externo manipuló la válvula	Visual de la válvula	6	1	1	6	Asegúrese de que la válvula externa de derivación de agua próxima a la bomba de calor esté cerrada.						
	El interruptor de presión hidráulica funciona mal	No sensa flujo de agua pesar de haber agua en la línea	Desgaste o daño interno en el circuito eléctrico del interruptor	Con medidor de resistencias o multimetro	9	1	1	9	Con el agua circulando, verifique la resistencia del interruptor de presión hidráulica. Si está abierto, reemplace el interruptor.						0

Valores de G entre 1 y 10; Valores de O entre 1 y 10; Valores de D entre 10 y 1 (Ver tablas de Valoración)

Figura 15. AMEF Bomba de Calor. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña



GERENTE	JEFE	MANTTO.

[illegible][illegible][illegible]

<b>Insumos consumibles:</b> guaype, franela., Químico Remover, limpia contactos.
---

Figura 16. Plan de Mantenimiento Bomba de Calor. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

## Plan de mantenimiento del equipo o sistema

Se crea el formato Planificación de Mantenimiento por Equipo, el cual maneja información relevante sobre el equipo, parámetros, repuestos claves, actividades y frecuencias de mantenimiento que se deben realizar para garantizar la conservación y funcionamiento del equipo o sistema (Anexo 8) (Figura 16).

### 3.10. Proceso de Asignación de Actividades al Personal

Luego de que el personal está apto y ha recibido toda la información necesaria respecto al funcionamiento de equipos y sistemas, se procede a la asignación de actividades de acuerdo a capacidad técnica.

### 3.11 Puesta a punto inicial de la Empresa

En primera instancia se procede a realizar el levantamiento de todos los activos de los edificios (anexo 3). Al momento de realización del contrato se entrega el Cronograma Anual para Mantenimiento que tiene un periodo de 12 meses (tiempo de duración del contrato) a la Administración para su respectivo control y seguimiento como se indica en la Figura 17. Éste cronograma lleva la codificación de acuerdo al número de contrato en secuencia y aquí se encuentran descritos los principales equipos ó equipos críticos, intrínsecamente en la realización de mantenimiento de “Sistema Eléctrico e hidráulico” se encuentran incluidos los equipos que no constan en el cronograma pero que están implícitos en la planificación y en el programa SOFTWARE.

#### Cronograma de Mantenimiento





CRM0007

CRONOGRAMA ANUAL PARA MANTENIMIENTO

EDIFICIO LA RECOLETA TORRES 1, 2 Y 3

TORRE	AREA	CODIGO EQUIPO	EQUIPO	MES DE MANTENIMIENTO												PROX MTTO	
				2019						2020							
				ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	EN	FEB	MAR		ABR
Torre 1	Calderos	LR-CA-01-001	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 1	Calderos	LR-CA-01-002	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 1	Calderos	VARIOS	Sistema eléctrico e hidráulico														Mayo 2020
Torre 1	Calderos	LR-CA-01-003	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 1	Calderos	LR-CA-01-004	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 1	Calderos	VARIOS	Sistema eléctrico e hidráulico														Mayo 2020
Torre 2	Calderos	LR-CA-01-005	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 2	Calderos	LR-CA-01-006	Bomba calor														Agosto 2020
Torre 2	Calderos	VARIOS	Sistema eléctrico e hidráulico														Mayo 2020
1Y2	Húmedas	N/A	tratamiento agua piscina - hidromasajes H y M														Mayo 2020
1Y2	Húmedas	LR-PA-01-041	Bomba de calor piscina														Julio 2020
1Y2	Húmedas	LR-PA-01-045	Bomba de calor hidromasaje hombres														Julio 2020
1Y2	Húmedas	LR-PA-01-052	Bomba de calor hidromasaje mujeres														Julio 2020
1Y2	Húmedas	LR-PA-01-058	Turco mujeres														Junio 2020
1Y2	Húmedas	LR-PA-01-051	Turco hombres														Junio 2020
1Y2	Húmedas	VARIOS	Sist. hidráulico y eléctrico														Mayo 2020
1Y2	Húmedas	N/A	Cambio arena filtro piscina														Agosto 2020
1Y2	Húmedas	N/A	Cambio arena filtro hidromasaje hombres														Agosto 2020

Figura 17. Cronograma Anual para Mantenimiento Preventivo de Equipo e Instalaciones. Elaborado: Veronica Ramírez & Jefferson Simbaña

Para la puesta a punto de los diferentes sistemas que forman parte de las edificaciones se analizan los sistemas auxiliares, el equipamiento y el entorno donde se encuentran instalados estos equipos, para que cumplan con las condiciones técnicas y de seguridad necesarias para su operación.

### **3.11.1. Entorno**

Se utilizó un sistema de codificación basado en la ubicación del equipamiento conformado de la siguiente manera:

Edificio - Línea ó Area – Torre - Maquina:

- Edificio: corresponde a dos iniciales del nombre del edificio donde está ubicado el equipo (ejemplo: La Recoleta – LR, Bristol Parc - BR).
- Línea o Área: se tiene el sistema de presión de Agua (PA), sistema de calentamiento de agua (CA) y área húmeda (AH).
- Torre: se identifica el número de torre de acuerdo al existe por cada edificio (ejemplo: Torre 1: 01)
- Máquina: Consecutivo con equipos similares en el área.

Ejemplo:

- LR – CA – 01 – 001 Edificio La Recoleta, sistema de calentamiento de agua, ubicado en la Torre 1, El número de Equipo 001.

En la figura 12 se muestra el diagrama de ubicación física de las instalaciones y diferentes sistemas (croquis), donde incluye: Sector, dirección, torre (s), ubicación dentro de la edificación (ejemplo: terraza, planta baja, subsuelo).

Se realiza un esquema descriptivo con el funcionamiento principal del sistema armado (equipos y conexiones que conforman el sistema), incluyendo la codificación dada a cada equipo para llevar un mejor control sobre cada equipo y sistema cuando se realice los controles de mantenimiento y los mantenimientos de los equipos programados sin haber confusiones porque se contará con el esquema descriptivo y adicional cada equipo tiene su etiqueta de codificación del equipo.

### **3.11.2. Equipamiento**

El equipo se podrá utilizar siempre y cuando su etiqueta lo indique. Se usarán tres tipos de etiquetas: apto, precaución y defectuoso.

La etiqueta de Precaución, se visualizará con color amarillo y se colocará:

- Cuando se realice una intervención correctiva al equipo y no se devuelva de forma óptima a sus condiciones de disponibilidad, pero puede operar bajo ciertas restricciones sin ocasionar daños ni pérdidas o;
- Cuando se haya sobrepasado el tiempo de mantenimiento y no se le haya brindado asistencia técnica al equipo.

Las etiquetas de identificación del equipamiento se muestran en la figura 18.

Etiquetas Identificación Estado Equipo	
<b>DEFECTUOSO</b> COMENTARIOS: ..... ..... ..... ..... DPTO: MTTO	<b>PRECAUCION</b>  EL EQUIPO FUNCIONA CON ALGUNAS LIMITACIONES. OPERE CON PRECAUCION  DPTO: MTTO
<div style="background-color: green; color: black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <b>APTO</b> </div> <div style="background-color: green; color: black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">           DESDE:                      HASTA:            FIRMA:                        DPTO: MTTO         </div>	

Figura 18. Etiquetas de identificación del equipamiento [5].

### 3.12 Costos de Mantenimiento

MECANOMONTAJE ha realizado el levantamiento del Costo de Mantenimiento por Sistemas (calentamiento de agua y presión de agua), correspondiente a los dos últimos semestres Julio –Diciembre 2018 y Enero- Junio 2019 con la finalidad de observar el impacto económico del mismo luego de la aplicación de un nuevo Sistema de Planificación de Mantenimiento. Figura 19.

[24]Para esto se utilizó la fórmula:

$$CGM = CIM + CFM + CAM + AIM$$

Dónde:

CGM = Costo Global de Mantenimiento

CIM = Costo de Intervenciones de Mantenimiento

CFM= Costo de Falla de Mantenimiento

CAM = Costo de Almacenamiento de Mantenimiento

AIM = Amortización de Inversiones en Mantenimiento

Costos Mantenimiento

COSTOS MAXIMO Y MINIMO JULIO 2018 - JUNIO 2019				
SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			SISTEMA PRESIÓN AGUA	
Periodo: Julio -Diciembre 2018			Periodo: Julio -Diciembre 2018	
	COSTO MAXIMO	COSTO MINIMO		COSTO MAXIMO COSTO MINIMO
AVERIA	15648,00	3450,00	AVERIA	4600,00 800,00
LIGERO	2035,00	1520,00	LIGERO	480,00 200,00
GENERAL	5435,00	3500,00	GENERAL	300,00 250,00
SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			SISTEMA PRESIÓN AGUA	
Periodo: Enero - Junio 2019			Periodo: Enero - Junio 2019	
	COSTO MAXIMO	COSTO MINIMO		COSTO MAXIMO COSTO MINIMO
AVERIA	12540,00	2540,00	AVERIA	1000,00 600,00
LIGERO	1600,00	600,00	LIGERO	455,00 80,00
GENERAL	4260,00	3000,00	GENERAL	285,00 200,00
PORCENTAJE DE REDUCCION EN COSTOS EN PERIODO JULIO 2019-JUNIO 2020				
SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			SISTEMA PRESIÓN AGUA	
Periodo: Julio -Diciembre 2018 / Enero - Junio 2019			Periodo: Julio -Diciembre 2018 / Enero - Junio 2019	
	COSTO MAXIMO	COSTO MINIMO		COSTO MAXIMO COSTO MINIMO
AVERIA	19,86%	26,38%	AVERIA	78,26% 25,00%
LIGERO	21,38%	60,53%	LIGERO	5,21% 60,00%
GENERAL	21,62%	14,29%	GENERAL	5,00% 20,00%

Figura 19. Cuadro comparativo costos periodo Julio-diciembre 2018 y Enero – junio 2019.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

### 3.13 Ficha de Costos

Para la determinación de las fichas de costos es imprescindible su actualización periódica. Están conformadas por la suma de los costos directos e indirectos, gastos generales y de administración, así como los gastos de distribución y venta cuando procedan. MECANOMONTAJE crea un cuaderno en Excel para el cálculo de los mismos, detallados a continuación:

Tabla 2. Tabla costos. Recursos Humanos

### RECURSOS HUMANOS

MANO DE OBRA	TARIFA HORARIA	HORAS/HOMBRES	TOTAL
COMERCIAL			0
CONTABILIDAD			0
TÉCNICO ESPECIALISTA			0
TÉCNICO			0
AYUDANTE			0
TOTAL DE REMUNERACIÓN			0

Nota: Detalle de valor del personal que labora en la Empresa.

Tabla 3. Costos Repuestos y Combustibles

### REPUESTOS Y CONSUMIBLES

No	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO U	CANTIDAD	PRECIO T
1					0
2					0
3					0
4					0
5					0
6					0
7					0
8					0
9					0
10					0
11					0
12					0
13					0
14					0
15					0
VALOR TOTAL					0

Nota: Listado de repuestos consumibles utilizados.

Tabla 4. Materiales e Insumos

MATERIALES E INSUMOS					
No	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO U	CANTIDAD	PRECIO T
1					0
2					0
3					0
4					0
5					0
6					0
7					0
8					0
9					0
10					0
11					0
12					0
13					0
14					0
15					0
TOTAL					0

Nota: Listado de materiales e insumos utilizados.

Tabla 5. Costos Transporte y Viáticos

TRANSPORTE Y VIATICOS			
TIPO TRANSPORTE	\$/KM	KILOMETROS	TOTAL
PROPIO			
GASOLINA EXTRA			
GASOLINA SUPER			
ARRENDADO			
TOTAL TRANSPORTE			0
HOSPEDAJE			
ALIMENTACION			
OTROS			
TOTAL VIATICOS			0
TOTAL TRANS/VIA			0

Nota: Listado de transporte y viáticos utilizados

Tabla 6. Costos Servicios Terceros

SERVICIOS DE TERCEROS			
No	TERCEROS	No Factura	Costo
1			
2			
3			
4			
5			
TOTAL			0

Nota: Listados de servicios a terceros utilizados.

Terminado el trabajo se procede a llenar cada uno de los costos que intervienen en el mantenimiento y se procede a revisar el valor de costo total de mantenimiento que tiene a desplegarse a continuación donde incluye todos los costos registrados anteriormente.

Tabla 7. Costos Totales.

COSTOS TOTAL		
No	COSTOS	TOTAL
1	MANO DE OBRA	0
2	RESPUESTOS Y CONSUMIBLES	0
3	MATERIALES E INSUMOS	0
4	TRANSPORTES Y VIATICOS	0
5	SERVICIO DE TERCEROS	0
TOTAL A COBRAR		0

Nota: Listado de costos totales.

El programa 4TUNA también tiene como parte de sus aplicaciones el realizar el cálculo de costos de una intervención o trabajo u orden de trabajo. El programa pone el precio de los repuestos, disponibilidad de los mismos sea en el cliente o la bodega de MECANOMONTAJE, el costo de mano de obra y extras.

Aquí se ingresa toda la información y se establece de forma rápida y segura el costo del trabajo. En el caso de que el programa no disponga del valor del repuesto dentro de su historial se procede a agregarlo en ese momento y continuar con el proceso de evaluación de Costos.




### 3.14 Indicadores de Mantenimiento

MECANOMONAJE utilizará tres de los principales indicadores para evaluar el desempeño de la Empresa: Indicadores de Equipamiento, de gestión y productividad. Se hará una retroalimentación de la información que cuenta la Empresa en los periodos Julio-diciembre 2018 y enero-junio 2019.

#### - Indicadores de Equipamiento

##### Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

 <b>EDIFICIO:</b> <b>LA RECOLETA</b>			PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)		PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)	
			HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORAS DE MANTENIMIENTO	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORAS DE MANTENIMIENTO
SISTEMA	EQUIPO	HORAS FUNCIONAMIENTO DIARIO	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA
CA	LR-CA-01-001	20	3660	12	3620	8
CA	LR-CA-01-002	20	3660	12	3620	8
CA	LR-CA-01-003	20	3660	15	3620	7
CA	LR-CA-01-004	15	2745	12	2715	9
CA	LR-CA-02-018	20	3660	14	3620	6
CA	LR-CA-02-019	15	2745	12	2715	8
<b>TOTAL DE HORAS CA EN EL SEMESTRE</b>			<b>20130</b>	<b>77</b>	<b>19910</b>	<b>46</b>
PA	LR-PA-01-028	8	1464	18	1448	12
PA	LR-PA-01-029	8	1464	21	1448	10
PA	LR-PA-01-030	8	1464	12	1448	12
PA	LR-PA-02-032	20	3660	18	3620	9
PA	LR-PA-02-033	4	732	15	724	11
PA	LR-PA-03-035	20	3660	16	3620	10
PA	LR-PA-03-036	4	732	16	724	10
<b>TOTAL DE HORAS PA EN EL SEMESTRE</b>			<b>13176</b>	<b>116</b>	<b>13032</b>	<b>74</b>
AH	LR-AH-01-041	20	3660	12	3620	8
AH	LR-AH-01-042	20	3660	14	3620	8
AH	LR-AH-01-043	20	3660	8	3620	3
<b>TOTAL DE HORAS AH EN EL SEMESTRE</b>			<b>10980</b>	<b>34</b>	<b>10860</b>	<b>19</b>
<b>TOTAL HORAS DEL SEMESTRE</b>			<b>44286</b>	<b>227</b>	<b>43802</b>	<b>139</b>

PERIODO	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORA DE MANTENIMIENTO	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	44286	227	99%
ENE-JUNIO 2019	43802	139	100%


LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 20. Indicador de disponibilidad. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

## Disponibilidad por avería

Intervenciones no programadas:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

			<b>EDIFICIO:</b> <b>LA RECOLETA</b>		<b>PERIODO: JULIO - DIC 2018</b> <b>(183 DIAS TRABAJO)</b>	<b>PERIODO ENERO - JUNIO 2019</b> <b>(181 DIAS TRABAJO)</b>
					<b>HORAS</b> <b>FUNCIONAMIENTO</b>	<b>HORAS DE</b> <b>VERIA</b>
					<b>HORAS DE</b> <b>FUNCIONAMIENTO</b>	<b>HORAS DE</b> <b>VERIA</b>
SISTEMA	EQUIPO	HORAS FUNCIONAMIENTO DIARIO	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA
CA	LR-CA-01-001	20	3660	24	3620	0
CA	LR-CA-01-002	20	3660	0	3620	3
CA	LR-CA-01-003	20	3660	0	3620	0
CA	LR-CA-01-004	15	2745	3	2715	0
CA	LR-CA-02-018	20	3660	4	3620	0
CA	LR-CA-02-019	15	2745	0	2715	1
<b>TOTAL DE HORAS CA EN EL SEMESTRE</b>			<b>20130</b>	<b>31</b>	<b>19910</b>	<b>4</b>
PA	LR-PA-01-028	8	1464	120	1448	6
PA	LR-PA-01-029	8	1464	6	1448	0
PA	LR-PA-01-030	8	1464	0	1448	0
PA	LR-PA-02-032	20	3660	0	3620	2
PA	LR-PA-02-033	4	732	48	724	0
PA	LR-PA-03-035	20	3660	0	3620	0
PA	LR-PA-03-036	4	732	48	724	0
<b>TOTAL DE HORAS PA EN EL SEMESTRE</b>			<b>13176</b>	<b>222</b>	<b>13032</b>	<b>8</b>
AH	LR-AH-01-041	20	3660	15	3620	4
AH	LR-AH-01-042	20	3660	0	3620	0
AH	LR-AH-01-043	20	3660	0	3620	0
<b>TOTAL DE HORAS AH EN EL SEMESTRE</b>			<b>10980</b>	<b>15</b>	<b>10860</b>	<b>4</b>
<b>TOTAL HORAS DEL SEMESTRE</b>			<b>44286</b>	<b>268</b>	<b>43802</b>	<b>16</b>


PERIODO	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORA DE AVERIA	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	44286	268	99%
ENE-JUNIO 2019	43802	16	100%

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 21. Disponibilidad por Averías. Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos)

$$MTBF = \frac{\text{Número de horas totales del periodo del tiempo analizado}}{\text{Número de averías}}$$

			PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)			PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)		
EDIFICIO: LA RECOLETA			HORAS FUNCIONAMIENTO	HORAS DE AVERIA	Nº DE AVERIAS	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORAS DE AVERIA	Nº DE AVERIAS
SISTEMA	EQUIPO	HORAS FUNCIONAMIENTO DIARIO	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	Nº DE AVERIAS EN EL SEMESTRE	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	Nº DE AVERIAS EN EL SEMESTRE
CA	LR-CA-01-001	20	3660	24	2	3620	0	
CA	LR-CA-01-002	20	3660	0		3620	3	1
CA	LR-CA-01-003	20	3660	0		3620	0	
CA	LR-CA-01-004	15	2745	3		2715	0	
CA	LR-CA-02-018	20	3660	4	1	3620	0	
CA	LR-CA-02-019	15	2745	0		2715	1	1
TOTAL DE HORAS CA EN EL SEMESTRE			20130	31	3	19910	4	2
PA	LR-PA-01-028	8	1464	120	2	1448	6	1
PA	LR-PA-01-029	8	1464	6	1	1448	0	
PA	LR-PA-01-030	8	1464	0		1448	0	
PA	LR-PA-02-032	20	3660	0		3620	2	1
PA	LR-PA-02-033	4	732	48	1	724	0	
PA	LR-PA-03-035	20	3660	0		3620	0	
PA	LR-PA-03-036	4	732	48	1	724	0	
TOTAL DE HORAS PA EN EL SEMESTRE			13176	222	5	13032	8	2
AH	LR-AH-01-041	20	3660	15	3	3620	4	1
AH	LR-AH-01-042	20	3660	0		3620	0	
AH	LR-AH-01-043	20	3660	0		3620	0	
TOTAL DE HORAS AH EN EL SEMESTRE			10980	15	3	10860	4	1
TOTAL HORAS DEL SEMESTRE			44286	268	11	43802	16	5

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 22. Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			
PERIODO	HORAS FUNCIONAMIENTO	Nº AVERIAS	MTBF
JUL - DIC 2018	20130	3	6710,0
ENE-JUNIO 2019	19910	2	9955,0

SISTEMA AREA HUMEDA			
PERIODO	HORAS FUNCIONAMIENTO	Nº AVERIAS	MTBF
JUL - DIC 2018	10980	3	3660,0
ENE-JUNIO 2019	10860	1	10860,0

SISTEMA PRESION DE AGUA			
PERIODO	HORAS FUNCIONAMIENTO	Nº AVERIAS	MTBF
JUL - DIC 2018	13176	5	2635,2
ENE-JUNIO 2019	13032	2	6516,0


EQUIPO LR-PA-01-028			
PERIODO	HORAS FUNCIONAMIENTO	Nº AVERIAS	MTBF
JUL - DIC 2018	1464	2	732,0
ENE-JUNIO 2019	1448	1	1448,0

Figura 23. Calculo I Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)

$$MTTR = \frac{\text{Número de horas de paro por avería}}{\text{Número de averías}}$$

		EDIFICIO:  LA RECOLETA	PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)			PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)		
			HORAS FUNCIONAMIENTO	HORAS DE AVERIA	Nº DE AVERIAS	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	HORAS DE AVERIA	Nº DE AVERIAS
SISTEMA	EQUIPO	HORAS FUNCIONAMIENTO DIARIO	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	Nº DE AVERIAS EN EL SEMESTRE	HORAS EN EL SEMESTRE	HORAS PARADA	Nº DE AVERIAS EN EL SEMESTRE
CA	LR-CA-01-001	20	3660	24	2	3620	0	
CA	LR-CA-01-002	20	3660	0		3620	3	1
CA	LR-CA-01-003	20	3660	0		3620	0	
CA	LR-CA-01-004	15	2745	3		2715	0	
CA	LR-CA-02-018	20	3660	4	1	3620	0	
CA	LR-CA-02-019	15	2745	0		2715	1	1
TOTAL DE HORAS CA EN EL SEMESTRE			20130	31	3	19910	4	2
PA	LR-PA-01-028	8	1464	120	2	1448	6	1
PA	LR-PA-01-029	8	1464	6	1	1448	0	
PA	LR-PA-01-030	8	1464	0		1448	0	
PA	LR-PA-02-032	20	3660	0		3620	2	1
PA	LR-PA-02-033	4	732	48	1	724	0	
PA	LR-PA-03-035	20	3660	0		3620	0	
PA	LR-PA-03-036	4	732	48	1	724	0	
TOTAL DE HORAS PA EN EL SEMESTRE			13176	222	5	13032	8	2
AH	LR-AH-01-041	20	3660	15	3	3620	4	1
AH	LR-AH-01-042	20	3660	0		3620	0	
AH	LR-AH-01-043	20	3660	0		3620	0	
TOTAL DE HORAS AH EN EL SEMESTRE			10980	15	3	10860	4	1
TOTAL HORAS DEL SEMESTRE			44286	268	11	43802	16	5

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 24. Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			
PERIODO	HORAS PARO POR AVERIA	Nº AVERIAS	MTTR
JUL - DIC 2018	31	3	10,3
ENE-JUNIO 2019	4	2	2,0

SISTEMA PRESION DE AGUA			
PERIODO	HORAS PARO POR AVERIA	Nº AVERIAS	MTTR
JUL - DIC 2018	222	5	44,4
ENE-JUNIO 2019	8	2	4,0

SISTEMA AREA HUMEDA			
PERIODO	HORAS PARO POR AVERIA	Nº AVERIAS	MTTR
JUL - DIC 2018	15	3	5,0
ENE-JUNIO 2019	4	1	4,0

EQUIPO LR-PA-01-028			
PERIODO	HORAS PARO POR AVERIA	Nº AVERIAS	MTTR
JUL - DIC 2018	120	2	60,0
ENE-JUNIO 2019	6	1	6,0

Figura 25. Calculo Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

SISTEMA CALENTAMIENTO AGUA			
PERIODO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	6710,0	10,3	1,0
ENE-JUNIO 2019	9955,0	2,0	1,0

SISTEMA PRESION DE AGUA			
PERIODO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	2635,2	44,4	1,0
ENE-JUNIO 2019	6516,0	4,0	1,0

SISTEMA AREA HUMEDA			
PERIODO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	10980,0	5,0	1,0
ENE-JUNIO 2019	10860,0	4,0	1,0

EQUIPO LR-PA-01-028			
PERIODO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
JUL - DIC 2018	732,0	60,0	0,9
ENE-JUNIO 2019	1448,0	6,0	1,0

Figura 26. Calculo de Disponibilidad por avería.


Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.

## - Indicadores de Gestión y Productividad

### Índice de cumplimiento de la planificación

$$\text{Indice de cumplimiento de la planificación} = \frac{N^{\circ} \text{ Órdenes acabadas en la fecha planificada}}{N^{\circ} \text{ Órdenes totales}}$$

#### EDIFICIO: LA RECOLETA

	PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)		PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)	
	ORDENES TOTALES	ORDENES CUMPLIDAS	ORDENES TOTALES	ORDENES CUMPLIDAS
CA	86	54	58	54
PA	27	26	41	39
AH	72	68	35	32
<b>TOTAL HORAS DEL SEMESTRE</b>	<b>185</b>	<b>148</b>	<b>134</b>	<b>125</b>

PERIODO	ORDENES TOTALES	ORDENES CUMPLIAS	INDICE CUMPLIMIENTO
JUL - DIC 2018	185	148	80%
ENE-JUNIO 2019	134	125	93%

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda


Figura 27. Índice de cumplimiento de la planificación.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña.

Tiempo medio de resolución de una O.T.

$$\text{Tiempo medio} = \frac{N \text{ de órdenes de trabajo resueltas}}{N^{\circ} \text{ de horas dedicadas al mantenimiento}}$$

**EDIFICIO: LA RECOLETA**



	PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)		PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)	
SISTEMA	HORAS DEDICADAS AL MMTO	ORDENES CUMPLIDAS	HORAS DEDICADAS AL MMTO	ORDENES CUMPLIDAS
CA	77	54	46	54
PA	116	26	74	39
AH	34	68	19	32
<b>TOTAL HORAS DEL SEMESTRE</b>	<b>227</b>	<b>148</b>	<b>139</b>	<b>125</b>

PERIODO	HORAS MTTO	ORDENES CUMPLIAS	TIEMPO MEDIO O.T
JUL - DIC 2018	227	148	65%
ENE-JUNIO 2019	139	125	90%

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 28. Tiempo medio de resolución de una O.T.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

*Índice de Mantenimiento Programado*

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

*Índice de Correctivo*

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

**EDIFICIO: LA RECOLETA**



SISTEMA	PERIODO: JULIO - DIC 2018 (183 DIAS TRABAJO)			PERIODO ENERO - JUNIO 2019 (181 DIAS TRABAJO)		
	HORAS MTTO PREVENTIVO	HORAS MTTO CORRECTIVO	TOTAL HORAS MTTO	HORAS MTTO PREVENTIVO	HORAS MTTO CORRECTIVO	TOTAL HORAS MTTO
CA	77	31	108	46	4	50
PA	116	222	338	74	8	82
AH	34	15	49	19	4	23
<b>TOTAL HORAS DEL SEMESTRE</b>	<b>227</b>	<b>268</b>	<b>495</b>	<b>139</b>	<b>16</b>	<b>155</b>

PERIODO	HORAS MTTO PREVENTIVO	TOTAL HORAS MTTO	IMP
JUL - DIC 2018	227	495	46%
ENE-JUNIO 2019	139	155	90%

PERIODO	HORAS MTTO PREVENTIVO	TOTAL HORAS MTTO	IMC
JUL - DIC 2018	268	495	54%
ENE-JUNIO 2019	16	155	10%

LEYENDA	
CA	Calentamiento de Agua
PA	Presión Agua
AH	Área Humeda

Figura 29. Índice De mantenimiento programado y mantenimiento correctivo.

Elaborado: Verónica Ramírez & Jefferson Simbaña

## CONCLUSIONES

Se han identificado un total de 60 equipos, de los cuales 26 corresponden a Calentamiento Agua, 13 a Presión de Agua y 21 corresponden al área Húmeda.

Las condiciones de trabajo varían por sistema: Calentamiento de Agua funciona en base al consumo del usuario controlado por sensores de temperatura, Presión de Agua funciona en base al consumo del usuario controlado por switch de presión y Área Húmeda se maneja por temporizadores trabajando 14 horas diarias distribuidas en el día.

Del análisis de efectos y modos de fallas, se subdividieron los equipos por familias obteniendo un total de 9 familias, en las cuales se identificaron un total de 48 modos de falla.

En las edificaciones se realizó la planificación del mantenimiento de los equipos e instalaciones para el periodo de un año. Tomando en cuenta su criticidad, tiempos de trabajo y recomendaciones del fabricante.

Se implementó el software 4TUNA, ingresándose en su base de datos un total de 60 equipos con sus características técnicas, las tareas de mantenimientos, planificación, repuestos, insumos, clientes y proveedores; el tiempo requerido fue de 40 días

Se elaboró la ficha de costos de mantenimiento tomando en cuenta los costos directos e indirectos. Mano de obras, material, repuestos, transporte, viáticos y subcontratación.



## **RECOMENDACIONES**

Realizar el ingreso de nuevos equipos a la gestión de mantenimiento de MECANOMONTAJE; este procedimiento aplica para el cambio de un equipo. Revisar constantemente que los controles de los sistemas estén en buen estado y trabaje dentro de los parámetros de operación.

Verificar que los fallos presentados se encuentren en el AMEF; caso contrario se deberá incluir en el mismo.

Hacer anualmente la planificación de mantenimiento tomando en cuenta los fallos producidos en el periodo anterior.

Ejecutar el software las veces que sea requerida, de tal manera que me mantenga actualizado y funcional.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Márquez, «SlideShare,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/mrpayasin/gestionmantenimiento>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [2] S. Nieto, «MANTENIMIENTO INDUSTRIAL,» 01 Junio 2009. [En línea]. Available: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>. [Último acceso: 10 Junio 2018].
- [3] C. Balbo, «Colegio Provincial de Educación Tecnológica Rio Grande,» 15 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.epetrg.edu.ar/>. [Último acceso: 10 Junio 2018].
- [4] B. Muños Abella, «MANTENIMIENTO INDUSTRIAL,» *Universidad Carlos III de Madrid*, pp. 3-4, 2010.
- [5] F. J. González Fernández, *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*, Madrid: FC Editorial, 2015.
- [6] D. Bustamante, «Udep Universidad de Piura,» 19 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://udep.edu.pe/ingenieria/gestion-de-mantenimiento/>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [7] Instituto Renovetec de Ingenieria del Mantenimiento, «RENOVETEC,» 2016. [En línea]. Available: <http://rcm3.org/que-es-rcm>. [Último acceso: 13 03 2019].
- [8] Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento, «RENOVETEC,» 2016. [En línea]. Available: <http://rcm3.org/fallos-y-modos-de-fallo>. [Último acceso: 13 03 2019].
- [9] G. S. García , «RENOVETEC,» 2009-2018. [En línea]. Available: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>. [Último acceso: 21 04 2019].
- [10] A. Echeverria , «Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento,» *Ingeniería Industrial*, p. 13, 2016.
- [11] S. Garrido, «RENOVETEC,» 15 09 2013. [En línea]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=3956>. [Último acceso: 02 06 2019].

- [12] M. Herrera Galán y Y. Duany Alfonzo, «Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento,» *Ingeniería Industrial*, p. 13, 2016.
- [13] S. R. K. F. Viveros P, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo,» *Ingeniere Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, nº 1, pp. 125-38, 2013.
- [14] M. G. A, *Mantenimiento estratégico para empresas generales o de servicio*, Medellín: Ediciones AMG, 2008.
- [15] S. G. Garrido, «RENOVETEC,» 2015. [En línea]. Available: <http://mantenimiento.renovetec.com/software-de-mantenimiento/127-que-significa-gmao>. [Último acceso: 30 07 2019].
- [16] H. G. M, «Sistema Automatizado para la Gestión de Mantenimiento en Plantas de Producción,» *Departamento de Bioingeniería, Instituto Superior José Antonio Echeverría*, vol. [Tesis de maestría], 2012.
- [17] C. M. A, *he maintenance management framework. Models and methods for complex*, Londres: Springer Verlag, 2007.
- [18] M. d. L. P. G. F. J. Crespo Márquez A, «The maintenance management framework: A practical view to maintenance management,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering.*, 2009.
- [19] K. A, *Gestión del mantenimiento industrial*, Madrid: Editorial Fundación REPSOL, 2019.
- [20] A. E. Abimbola A, «Implementation of CMMS Software for a Maintenance Plan in a Manufacturing Industry.,» *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2013.
- [21] K. M., «An approach for determining the requirements of computerized maintenance management systems,» *Computers in Industry.*, 2008.
- [22] L. M. Manene, «LOS DIAGRAMAS DE FLUJO: SU DEFINICIÓN, OBJETIVO, VENTAJAS, ELABORACIÓN, FASES, REGLAS Y EJEMPLOS DE APLICACIONES,» 19 08 2013. [En línea]. Available: [https://moodle2.unid.edu.mx/dts\\_cursos\\_md/lic/AE/EA/AM/07/Los\\_diagramas.pdf](https://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md/lic/AE/EA/AM/07/Los_diagramas.pdf). [Último acceso: 23 06 2019].
- [23] LEAN SOLUTION, «LEAN SOLUTION AMEF,» 2015. [En línea]. Available: <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo->

y-efecto-de-falla/. [Último acceso: 04 04 2019].

- [24] I. J. Turnero Astros, «monografias,» 15 07 2014. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos98/costos-mantenimiento/costos-mantenimiento.shtml>. [Último acceso: 18 5 2019].

## **ANEXOS**